

자동차용 충격 흡수기의 동특성 연구

남 경 탁 · 황 성 원 · 신 귀 수*†

전북대학교 기계공학과 대학원, *벽성대학 자동차서비스과
(2001. 9. 29. 접수 / 2002. 9. 11. 채택)

A Study on Dynamic Characteristics of Automotive Shock Absorber

Keong-Tak Nam · Sung-Won Hwang · Gwi-Su Shin*†

Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University

*Department of Car Service, Byuksung College.

(Received September 29, 2001 / Accepted September 11, 2002)

Abstract : A dynamic characteristics of shock absorber in the various excitation is investigated experimentally. Work diagrams and characteristic curves are used as a experimental standard. The various excitation conditions, temperature and noise are very important factors in associated with the reduction of damping force.

It is found that the heat occurrence from shock absorber, the gas shock absorber is much higher than oil shock absorber and increased in high speed. As to the variation of damping force, there are no change when the speed is low, but we fixed amount of variation by increasing speed and change of new and old decrease. The sound pressure of the swash noise from cycle of shock absorber, we compared with theory sound pressure by experiment.

Key Words : Shock absorber, Work diagrams, Characteristics curve, Damping force, Swash noise

1. 서 론

오늘날 자동차는 본래의 달리는 기능 외에 추가로 편안함과 주행안정성의 요구가 더욱 높아지고 자동차 회사들로 연구에 주력하고 있는 실정이다. 자동차 현가장치인 속 업소버는 차체의 상하 운동 에너지를 흡수함으로써 진동을 억제하여, 쾌적한 승차감을 향상시키고 적재한 짐을 보호하는 역할을 한다. 또한, 차체 각부의 동적 응력 저감 및 수명을 증가시키고 동시에, 스프링 아래 운동을 제어하여 타이어와 도로 표면 사이의 접촉을 유지하도록 하고 관성력에 의한 차체 변화를 억제하여 차량의 운전 성능 향상을 도모한다. 이와 같이, 속 업소버에서 발생하는 제진력을 통상 감쇠력이라 한다^{1,4)}.

James와 Ullery³⁾는 근사적 조화 변위를 사용하여 충격흡수기의 성능을 힘-변위 관계로 시험하는 방

법을 발표하였는데 속 업소버의 성능저하, 이력 특성, 진동수 의존성 등을 파악하는데 활용되고 있다. Peterson⁶⁾은 일 선도, 특성곡선 또는 방정식 모델로 구하는 연구를 실험을 통해 수행하였다. 근래에는 컴퓨터의 발달에 힘입어 충격 흡수기 내의 오일유동을 좀더 세밀하게 비압축성 점성유체의 비정상 유동에 대해 전산 유체역학으로 수치해석을 수행한 사례가 자동차용 충격흡수기에 적용되고 있다^{7,8)}. 일반적으로 감쇠력 발생 기구는 고체 마찰을 이용한 방법과 유체 저항을 이용한 방법이 있는데, 자동차의 현가장치에 사용되는 속 업소버는 경량 소형으로 비교적 큰 흡수 에너지를 얻을 수 있고, 작동 속도에 대한 감쇠력 특성을 어느 정도 임의로 정할 수 있는 오일유체의 유동 난류 저항을 이용한 오일 속 업소버가 대부분 사용되고 있다^{9,10)}.

실제 자동차의 경우에는 일정시간 동안 계속 주행을 하기 때문에 속 업소버의 작동유체는 실린더 내의 관로를 계속적으로 이동하면서 열과 소음을 발생시키고, 차량이 노후됨에 따라 속 업소버에

†To whom correspondence should be addressed.
haazi@hanmail.net

도 사용시간에 따른 노후의 영향이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 여러 가진 조건과 사용시간에 따른 속 업소버의 감쇠력 변화와 이때 발생하는 열과 소음과의 관계를 연구하였다. 따라서 이를 토대로 자동차의 설계 시 차량의 성격에 맞는 속 업소버의 선택 및 설계에 도움을 주고, 주행 중 발생하는 차량의 진동과 소음을 저감하기 위한 대책을 수립하고자 하였다.

2. 실험

Fig. 1은 본 연구를 위해 제작한 실험장치의 개략도이다. 지면으로부터의 진동을 제거하기 위해 10mm 고무판을 깔고 그 위에 실험용 정반을 설치하였다. 정반 위에 5mm의 방진고무를 삽입하여 속 업소버를 구동시키기 위한 모터를 설치하고, 실험용 스탠드는 100×50×5mm의 채널로 제작하였다. 스탠드의 지지부는 용접을 하였으며 스탠드간의 연결은 M10×1.5의 볼트를 사용하여 체결하였다.

속 업소버 가진 장치에 설치된 풀리는 충분한 토크를 발생시키기 위해 직경비를 1:4로 하고, 편심판을 부착하여 2줄 벨트로 구동하였다. 편심판과 연결된 직선 운동부는 편심판 회전에 의한 진동을 억제하기 위해 직선 베어링을 사용하여 원운동을 직선 왕복운동으로 변환하며 스탠드에 고정되었다.

편심판은 13mm의 철판으로 구성되어 가진에 의한 힘을 억제하였고, 편심량이 10, 20, 30mm인 구멍이 뚫려져 있다. 이 편심판을 통해 속 업소버에 20, 40, 60mm의 가진을 할 수 있게 된다.

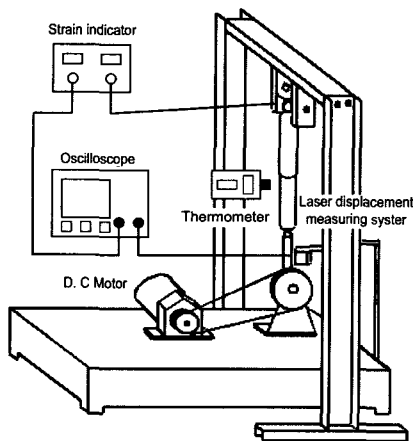


Fig. 1. Schematic Diagram of Experimental System

시편 상단부에 로드 셀을 하단부에 레이저 변위 측정계를 부착하여 변위를 측정하고, 중앙에 온도계와 마이크론을 설치하여 측정하였다. 본 연구에 사용된 시편은 현재 국내에서 시판되고 있는 차량의 속 업소버(HPI HB 227100, HPI HB 227600)로 가스식(New, Old)과 오일식(New, Old)을 사용하여 실험을 하였다.

본 연구를 위한 실험은 사전 실험과 본 실험으로 나누어 실시하였다. 사전 실험은 본 실험에 앞서 장비의 신뢰성을 향상시키기 위하여 실시하였으며 이 실험에서는 속 업소버의 감쇠력의 변화와 온도, 소음을 측정하였다. 속 업소버의 성능 평가와 제작시의 불량 유·무는 일반적으로 피스톤 속도가 0.3m/s 일 때의 힘-변위 선도로써 판단한다. 따라서 본 연구에 있어서는 피스톤의 속도가 0.314m/s (20mm, 300rpm)로 가진될 때 로드셀과 레이저 변위계를 사용하여 속 업소버의 감쇠력-변위 선도를 측정하였다.

본 실험은 10분 동안의 서로 다른 가진을 받을 때 속 업소버 감쇠력의 변화와 온도, 소음을 측정한다. 실험에 사용된 가진은 피스톤의 속도와 변위로 구분하였다. 실험에 사용된 피스톤의 속도를 0.251, 0.314, 0.377, 0.439m/s로 하고, 변위는 20, 40, 60mm로 하였다. 이 상응하는 회전수에 맞는 가진 주파수는 다음 (1)식에 의해 구하였다.

$$f(Hz) = \frac{60 \times 1000 \times y}{\pi \times x} \quad (1)$$

여기서 y 는 속 업소버의 가진 입력 변위로 행정의 최대 변위를 각속도와 초기 위상각으로 나타내고, x 는 피스톤 속도이다. 감쇠력 변화 실험은 감쇠력의 변화가 심한 반복 충격 시에 발생하는 감쇠력의 변화를 측정하였다. 가진의 초기 상태(0분)의 감쇠력은 로드셀을 통해 측정하고, 1분 간격으로 감쇠력을 계속 측정하여 변화를 관찰하였고, 온도 변화 실험은 속 업소버의 가진 중 발생하는 열을 측정하기 위해 속 업소버의 피스톤 위치에 적외선 온도계를 설치하고, 1분 간격으로 온도 변화를 측정하였다. 속 업소버의 분류음은 작동 유체 내에서 발생하는 캐비테이션에 의해 발생하기 때문에, 분류음의 음압은 속 업소버의 온도와 관계가 있다. 따라서, 이 분류음의 음압 측정은 속 업소버의 표면 온도가 동일한 초기 상태(0분)일 때, 마이크론을 통하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

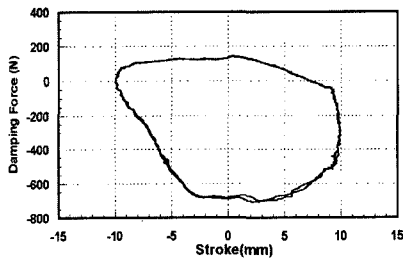
사전시험에서 속 업소버의 감쇠력과 변위를 측정하여 각 속 업소버의 감쇠력 변화의 특징을 알 수 있었다. Fig. 2의 그래프는 시험 시편의 특징을 파악하기 위하여 사용 노후에 따라 신제품을 New로 실차에 약 4년간 사용된 제품을 Old로 하여 감쇠력과 변위의 관계를 나타낸 것이다.

먼저, 가스 속 업소버의 경우는 노후에 따라 New와 Old의 감쇠력 차이가 보이고 있다. 이는 장기간 사용에 따른 밸브 기구의 변형 및 오일 점성의 감소로 발생하며, 실험 후에 시료 분해 검사로 차이를 알 수 있었다.

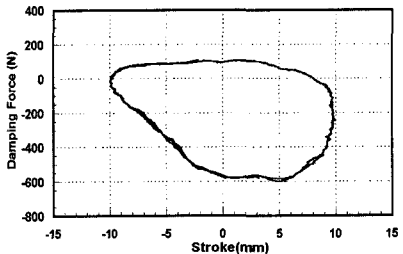
오일 속 업소버의 경우 New와 Old의 차이가 가스식의 경우보다 훨씬 크게 나타났다. 속 업소버가 압축 행정 일 때의 감쇠력은 비슷한 경향을 보이고 있지만, 인장 행정일 때의 감쇠력은 서로 다른 경향을 보이고 있다. 이는 Old 속 업소버의 경우 사용기간에 따른 밸브 시스템의 피스톤 부의 마모로 밸브 기구가 인장시 실링작용을 하지 못하기 때문이다.

3.1. 온도 변화

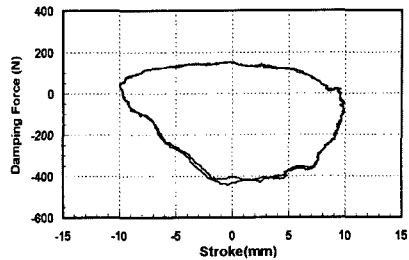
속 업소버는 작동 유체의 점성을 이용하여 감쇠력을 발생시키기 때문에 속 업소버에서 작동 유체의 열은 매우 중요한 고려 요소이다. 실험 결과를 보면, 작동 유체의 온도 변화는 가진 조건과는 상관



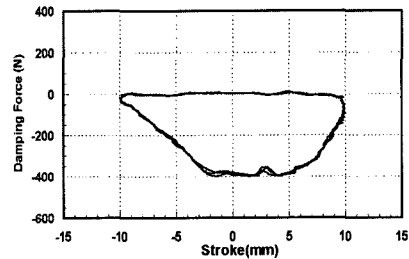
(a) Gas-type shock absorber(New)



(b) Gas-type shock absorber(Old)



(c) Oil-type shock absorber(New)



(d) Oil-type shock absorber(Old)

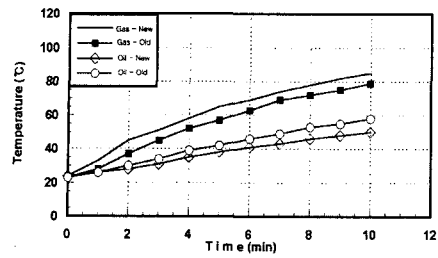
Fig. 2. Relation of stroke and Damping force

없이 피스톤의 직선 속도에만 영향을 받는 것으로 보여진다. 다음 Fig. 3의 결과는 피스톤의 변위가 20mm일 때 각 속도에 대한 온도 변화 그래프이다. 그래프에서, 온도 변화가 큰 쪽이 가스식 속 업소버이다. 0.251m/s일 때는 가스식과 오일식의 온도 차이는 초기 상온에서 약 20°C 정도이지만, 0.314m/s일 때는 10분의 실험시간 경과후 약 40°C의 차이를 보이고 있다. 사용 노후에 따른 온도 변화는 가스식과 오일식 모두 동일한 경향의 상승을 보이고 있다.

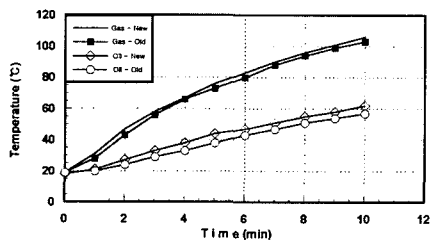
3.2. 소음 변화

우선 실험 장치에서 발생하는 소음과 속 업소버의 분류음(Swash Noise)의 주파수 대역의 차이를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. Fig. 4에서 (a)는 실험 장치에 속 업소버를 장착하지 않고 모터 구동만으로 측정된 1/3 옥타브 그래프이고, (b)는 속 업소버를 장착하여 측정된 그래프이다. 이 그래프를 살펴보면, 10kHz이상의 고음역대에서 음압의 차이가 있다. 특히 12.5kHz에서 16kHz사이의 음압이 최대를 보였다. 이는 Reybrouck⁷⁾ 수치해석 결과에 의한 속 업소버의 분류음의 주파수 대역과 일치한다. 음압은 다음 (2)식에 의해 구해진다.

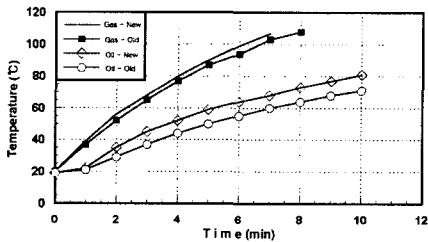
$$SPW = \rho_{air} l^2 a^3 (u/a)^8 \quad (2)$$



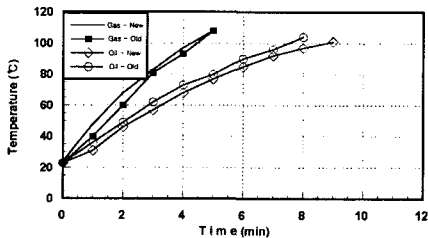
(a) 0.251m/s with 20mm-240rpm



(b) 0.314m/s with 20mm-300rpm



(c) 0.377m/s with 20mm-360rpm



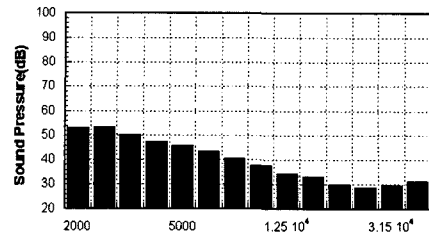
(d) 0.439m/s with 20mm-420rpm

Fig. 3. Behavior of temperature on speed

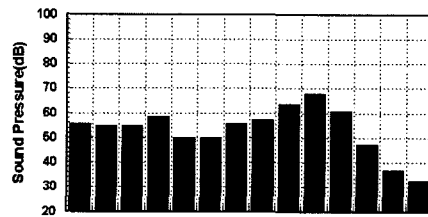
여기서 SPW = 음압, ρ_{air} = 유체에 함유된 공기의 밀도 l = 매개변수, a = 음속, u = 유속

따라서 이 주파수 대역 분류음의 음압을 비교하여 속 업소버 내의 캐비테이션의 양을 실험으로 증명하였다.

Fig. 5는 같은 피스톤 속도이지만, 변위가 다를 경우, 속 업소버의 12.5kHz에서 16kHz사이의 분류음의 음압을 측정하여 그 그래프이다. 이 그래프를 살펴보면, 피스톤의 속도가 증가함에 따라 음압도 증가

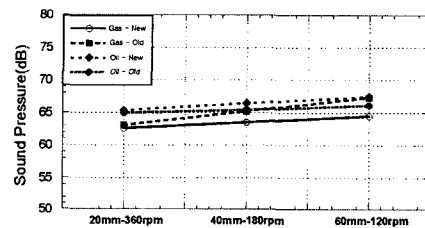


(a) without shock absorber

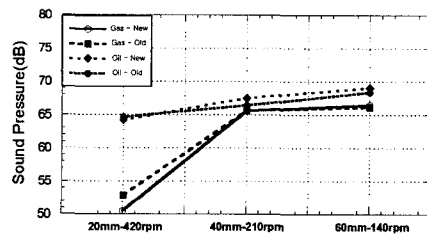


(b) with shock absorber

Fig. 4. Sound pressure of 1/3 Octave Band



(a) Velocity 0.377m/s



(b) Velocity 0.439m/s

Fig. 5. Behavior of sound pressure at same speed

함을 보이고 있다. 여기에, 가진 조건에 따라 음압의 변위를 측정함으로써 감쇠력 측정치와 함께 최적의 가진 조건을 설계 할 수 있다. 이는 피스톤 변위가 커질수록 속 업소버 내의 작동유체에 캐비테이션 현상이 활발해진다는 것을 간접적으로 알 수 있다.

3.3. 감쇠력 변화

피스톤 속도가 0.314m/s로 20mm-300rpm일 때의

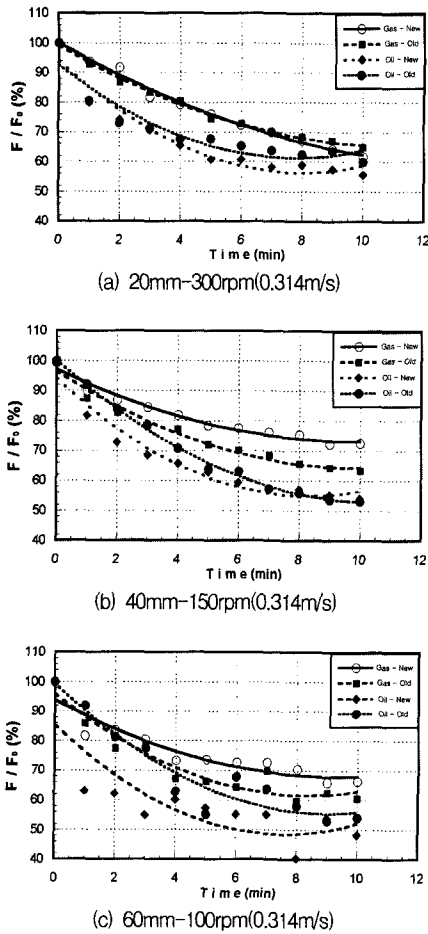


Fig. 6. Behavior of decreasing ratio of the damping force

시간 흐름에 따른 자동차 속 업소버의 감쇠력의 변화는 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다. 이 그래프의 x 축은 시간을 나타내고, y 축은 초기(0분)의 감쇠력을 F_0 로 하고, 1분 간격으로 측정된 감쇠력을 F 라 했을 때 F/F_0 의 백분율을 나타낸 값이다. 이 값을 통해 스트로크와 회전 속도와의 가진 조건에 따른 속 업소버의 감쇠력의 변화를 알 수 있다.

전반적으로 시간이 경과하면서 감쇠력의 감소가 발생하고 있으며, 사용시간 10분 경에는 감쇠력의 감소가 둔화하여 수렴되는 경향을 보인다. 감쇠력의 감소정도를 가스식과 오일식을 비교하면 가스식이 감소정도가 적게 나타난다. New와 Old의 감쇠력 감소정도를 비교하면 가스식과 오일식에서 분명한 차이가 발생하지 않음을 확인 할 수 있다.

4. 결론

국내에서 시판되는 자동차용 속 업소버의 신제품(New)과 중고품(Old)의 스트로크와 회전 속도의 변화에 따른 가진 조건하에서 감쇠력의 변화를 실험하였고, 열과 소음 등의 동특성을 감쇠력의 변화와 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가스식과 오일식 속 업소버의 사용시간에 따른 열발생은 가스식이 오일식에 비하여 상승정도가 현저히 크게 나타났고, 속도변화가 클수록 상승정도의 차이가 증가되는 경향을 보인다.

(2) 속 업소버의 운동 중 발생하는 분류음의 음압을 실험을 통해 측정된 결과 이론 음압과 잘 일치하였다.

(3) 감쇠력의 변화는 시간의 경과와 함께 감소하다가 10분 경에 감소정도가 둔화되어 수렴하는 경향을 보였다.

5. 참고문헌

1. 사단법인 한국자동차공학회 자동차 기술 핸드북, pp. 281-290, 1996.
2. 강희용 외 4인, 자동차공학개론, 청문각, pp. 293-309, 1999.
3. 광상국 외 3인, 신편 자동차새시, 원창출판사, pp. 91-120, 1997.
4. GB기획센터, 자동차구조학, 골든벨, pp. 452-464, 1999.
5. W.S. James and F.E. Ullery, "An Automatic Shock Absorber," SAE Transactions, Vol. 30, No. 5, pp. 185-191. 1932.
6. R. R. Peterson, "Hydraulic Applied to the Automobile Suspension," Proceedings of the National Conference of Industrial Hydraulics, Vol. 7, pp. 23-43. 1953.
7. K. Reybrouck "A Nonlinear Parametric Model of an Automotive Shock Absorber," SAE International Congress, Detroit, Michigan, February 28-March 3, pp. 79-86, 1994.
8. S. Duym, R. Stiens and K. Reybrouck, "Fast Parametric and Nonparametric Identification of Shock Absorbers," Proceedings of the 21st International Seminar on Modal Analysis, Noise and Vibration Engineering Conference, Leuven, Belgium, pp. 1157-1169, 1996.

9. 신귀수 외4, “쇼크 업소버의 소음 발생 요인과 진동 감쇠 특성에 관한 연구,” 산업안전학회지 Vol. 13, No. 4, pp. 102-112, 1998.
10. 전북대학교 자동차 신기술연구소, “실차실험을 통한 Suspension 구성 부품들이 승차감에 미치는 영향 및 기여도에 대한 실제 데이터분석연구(1차),” (주) 만도기계 보고서, 1997.