

자동차 시트의 안락성 특성 인자의 상관관계 연구

박용환 · 이승용

호서대학교 안전공학부

1. 서론

개개인의 생활 수준 향상으로 자동차가 개인 교통 수단이나 레저 생활용으로 더욱 많이 활용되면서 장시간 운전이 늘어감에 따라, 운전자의 신체적 피로는 운전 중의 사고의 원인이 되고 있으며, 장시간 운전시의 피로감의 원인이라고 할 수 있는 엔진과 노면으로부터 인체에 전달되는 진동에 대한 대비책으로, 시트 부분의 내진 및 감쇠 설계가 실제로 운전자가 느끼는 승차감 즉 안락성에 결정적인 역할을 한다고 볼 수 있다. 국내의 경우 자동차 시트 기술은 대부분 외국 기술에 의존하고 있는 실정이어서 전문적인 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 승차감이 우수한 시트의 국산화 개발을 위하여 시트의 승차감과 밀접한 관계가 있는 정적, 동적 특성을 나타내는 설계 변수간에 어떠한 상관관계가 있는지를 살펴보고자 하였다.

2. 시트의 안락성 특성

시트의 안락성 평가 방법에는 국내외 관련 규격 및 시트 제조회사마다 약간씩 상이한 면이 있으나 크게 정적 안락성과 동적 안락성으로 나누어질 수 있으며, 정적 안락성에는 정적 스프링상수, IFD, 히스테리시스, Ball Rebound, 체압분포 등이 포함되며, 동적 안락성에는 동적 스프링상수, 진동감쇠율, 공진주파수, 진동 peak, 진동전달율, 동적 피로 등이 포함된다. 본 연구에서는 이중 몇 가지 중요한 평가변수에 대한 상관관계를 고찰하고자 하였다.

2.1 정적 스프링 상수

정적 스프링 상수는 착좌 시 탑승자의 하중과 시트의 변형량 간의 비를 말하며, 시트의 폭신한 정도를 나타내는 것으로 이 값이 작을수록 시트가 딱딱하게 느껴지고, 이 값이 클수록 시트가 폭신한 느낌을 준다. 일반적으로 자동차용 시트에서의 정적 스프링 상수 산출은 100 Kg의 하중을 주었을 때의 하중-변위 곡선에서 400N의 하중점의 접

선의 기울기를 구하거나, 하중-변위 곡선에서 Fig 1과 같이 세 하중 영역(10~20kg, 40~50kg, 60~70kg)에서의 기울기를 스프링상수로 하는 방법을 택하고 있다.

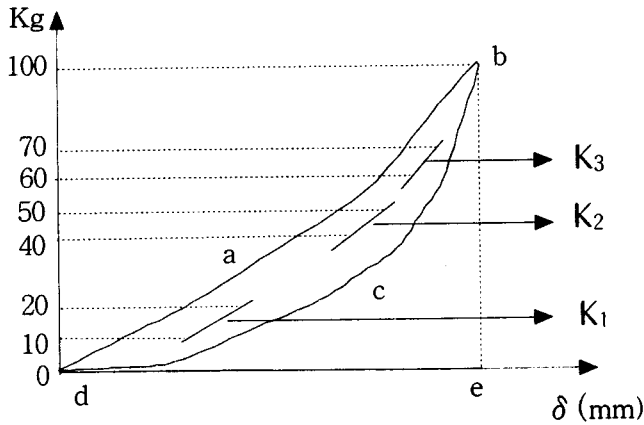


Fig. 1 Spring constant and hysteresis loss

2.2 히스테리시스 손실율

시트에 정하중 시험을 실시하여 하중이 가해질 때의 하중-변위 곡선과 하중이 제거될 때의 하중-변위 곡선을 같은 그래프에 나타내면 두 곡선간에 차이가 발생하는데 이 차이만큼을 히스테리시스 손실(hysteresis loss)이라 하며, 이 때의 차이 면적과 부하곡선 아래의 면적과의 비율을 히스테리시스 손실률이라고 한다. 히스테리시스 손실률은 시트의 복원력 내지는 쿠션성을 나타내는 중요한 척도이며, 이 값이 너무 작으면 쿠션성이 떨어지고, 너무 크면 시트의 복원력이 부족하여 모두 승차감을 나쁘게 하는 요인이 된다. Fig 1에서 히스테리시스 손실률은 다음의 식으로 나타내어진다.

$$\text{히스테리시스 손실률 (\%)} \quad a = \frac{\text{면적 } 0 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot 0}{\text{면적 } 0 \cdot a \cdot b \cdot e \cdot 0} \times 100 \quad (1)$$

2.3 진동감쇠율

진동감쇠율(damping ratio)은 점성 또는 댐핑을 갖고 있는 계의 자연 감쇠 정도를 나타내는 것으로 탑승자가 착좌한 상태에서 주행할 경우 도로로부터의 변위나 차체 진동이 시트에 전달되어 탑승자의 안락감에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 일반적으로 자유진동 시의 변위의 대수감소(logarithmic decrement)를 측정하는 방법으로 구할 수 있다. 여기서 대수감소는 두 이웃하는 진폭비의 자연대수로 다음 식으로 나타내어진다.

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \frac{x_2}{x_3} = \dots = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2)$$

이때 ζ 가 0.4 이하의 작은 값일 경우에는 대수 감소는 근사식으로 $\delta \cong 2\pi\zeta$ 로 나타낼 수 있는데, 일반적으로 시트에서의 진동 감쇠율은 Fig. 2와 같은 곡선으로부터 다음 식과 같이 구한다.

$$\zeta = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{n} \left(\frac{x_1}{x_2} + \frac{x_2}{x_3} + \dots + \frac{x_n}{x_{n+1}} \right) \quad (3)$$

2.4 진동전달률

고유진동수를 가진 물체가 지지점에서 운동을 받아 강제진동을 일으킬 때 물체와 지지점 간의 변위 진폭의 비 또는 전달력 크기의 비를 진동전달률(transmissibility)이라고 한다. 동적계에 있어서 전달률은

$$\left| \frac{X}{Y} \right| = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta \frac{w}{w_n})^2}{[(1 - (\frac{w}{w_n})^2)]^2 + [2\zeta \frac{w}{w_n}]^2}} \quad (4)$$

로 표현되며, 여기서 X , Y 는 각각 물체와 지지대의 변위 진폭을, ζ 는 감쇠율을, w 와 w_n 은 각각 가진주파수와 고유진동수를 나타낸다.

2.5 공진주파수

공진이란 동적계에 있어서 외력의 주파수가 계의 고유진동수 중의 어느 하나와 일치하는 경우에 발생하는 것으로 계의 진폭이 매우 커지게 된다. 시트의 경우 진동전달률 시험에서 나타난 데이터 값 중에 진동전달이 가장 크게 나타나는 주파수대를 공진주파수 대역으로 한다.

3. 실험

3.1 시험품 및 시험장치

본 연구에서 시험품으로 사용된 시트는 시트의 구조 및 재질, 형상이 서로 다른 배기량 1500cc급의 소형차용 시트(SS), 배기량 1800cc 급의 중형차용 시트(MS) 및 2000cc 급의 밴(VAN)용 시트(VS)의 3가지 모델을 선정하였다. 시험장치로서는 컴퓨터가 부착된 시트용 정하중 시험기와 시트용 가진 시험기의 두 종류를 사용하였다.

3.2 시험 방법

각 시험품에 대하여 정적 스프링상수, 히스테리시스 손실율, 진동전달률, 공진주파수, 진동감쇠율, 동적 스프링상수 측정 실험을 실시하였다.

먼저 시트 전용 정하중 시험기에서 인체모형을 사용하여 100 Kg의 하중을 시트에 가한 후 다시 하중을 제거하여 하중-변위 곡선을 구하였다. 이 곡선으로부터 Fig. 1에

서와 같이 세 지점에서의 스프링상수 값 K_1 , K_2 , K_3 를 구하고, 동 그래프로부터 식 (2)에 의한 히스테리시스 손실률을 계산하였다.

시트의 진동감쇠율 시험은 시트 전용 가진 시험기에 시험용 시트를 장착하고, 시트 프레임에 가속도계를 장착한 다음, 시트 쿠션 부위의 20mm 상부에서부터 60 Kg의 하중을 자유낙하 시킨다. 이때 가속도계의 신호로부터 진동감쇠곡선을 얻은 다음, 식 (3)에 의하여 진동 감쇠율을 산출하였다.

시트의 진동전달률, 공진주파수 및 동적 스프링상수 측정은 전달률-주파수 곡선으로부터 구해질 수 있다. 이를 위하여 시트 전용 가진 시험기에 시험용 시트를 장착하고, 시트 프레임에 가속도계를 장착하였다. 가속도계가 부착된 표준 인체모형을 시트 위에 앉힌 다음 시트가 장착된 가진대를 주파수를 0 ~ 4Hz, 6 ~ 10Hz 사이에서는 1 Hz 간격으로, 그리고 4 ~ 6Hz 사이에서는 0.1Hz 간격으로 증가시키면서 가진시켰다. 가진량은 액츄에이터의 성능과 가진주파수를 고려하여 적절히 조정하였으며, 가진대 및 모형에서의 가속도를 각각의 가속도계를 이용하여 측정하였다.

4. 실험 결과 및 해석

Table 1은 세가지 시험품에 대한 정적, 동적 특성 시험 결과를 표로 나타낸 것이고, Fig. 1은 시트의 정적 안락성 평가 변수인 정적 스프링 상수와 변형량, 그리고 히스테리시스 손실률 간의 상관관계를 알아보기 위하여 실험 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 1 Static and Dynamic test results for three types of seats

Characteristics	Variable		SS1500	MS1500	VS2000
Static spring constant (kg/mm)	K_1	10~20kg	0.94	1.36	0.66
	K_2	40~50kg	1.59	2.05	1.37
	K_3	60~70kg	2.56	3.20	2.02
Deflection (mm)	δ_1	at 40kg	65.1	59.2	68
	δ_2	at 100kg	85.6	75.6	91.9
Hysterisis loss ratio(%)	α		23.1	10.7	22.0
Damping ratio	ζ		0.221	0.3465	0.333
Transmissibility	TM		5.349	3.863	4.444
Resonance frequency(Hz)	fo		4.5	5.3	4.6
Dynamic spring constant (kg/mm)	Kd		4.89	6.79	5.11

표에서 보는 바와 같이 정적 스프링 상수 값은 VAN의 경우를 제외하고는 소형차보다는 중형차의 경우 오히려 값이 커지는 것으로 나타났으며, 반대로 40kg 및 100kg에서의 시트의 변형량은 중형차에서 작아지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 레저용 차량인 VS 시트의 경우 배기량이 제일 큼에도 불구하고 정적 스프링 상수는 SS 급보다 적게 나타났고, 같은 하중에서의 변형량은 오히려 증가한 것으로 나타났다. 히스테리시스 손실은 MS 시트에서 가장 작게 나타났고 SS나 VS에서 크게 나타났다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 정적 스프링 상수 값이 증가할수록 히스테리시스 손실률은 감소하고, 변형량이 증가할수록 히스테리시스 손실률도 증가하는 것으로 나타났다.

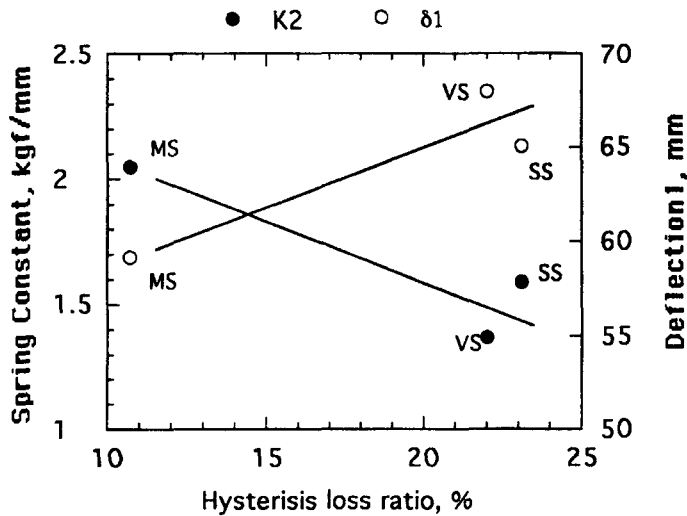


Fig. 2 Static spring constant and deformation vs. hysterisis loss ratio

Fig. 3는 세 종류 시트에 대한 가진 주파수대별 진동전달률 값을 측정하여 이를 각각 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 SS 시트와 VS 시트의 경우 공진 주파수대가 각각 4.5Hz 와 4.6Hz로 거의 비슷하게 나타났으며, MS 시트의 경우 공진 주파수 대역이 5.3Hz로 약간 높게 나타났다. 최대 진동전달률 값은 SS 시트의 경우 5.35, VS의 경우 4.44로 SS 시트보다 VS 시트의 전달률이 작게 나타났으며, MS 시트의 경우 전달률이 3.84로 세 모델 중에서 가장 작게 나타났다.

MS나 VS 시트에서 진동전달률이 가장 작게 나타난 것은 소형차보다는 중형차나 VAN이 고급 차종인 점과 무관하지 않은 것으로 보이며, 진동전달률이 외부 진동에 대한 차량의 안락감에 가장 큰 영향을 미치는 변수임을 감안한 설계라고 볼 수 있다. VS

의 경우 전달률이 SS와 MS의 중간 정도로 나타나 배기량이나 차량가격을 고려할 때는 일반 승용차에 비해 안락성이 떨어지는 것으로 나타났다.

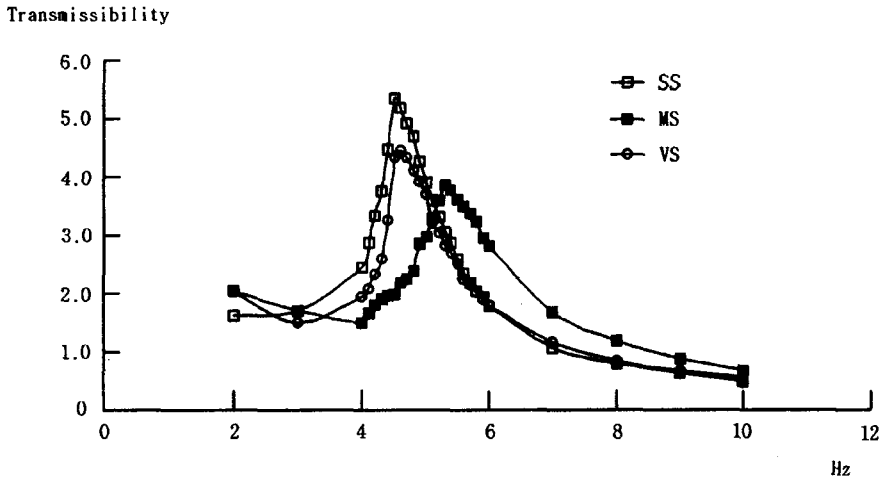


Fig. 3 Transmissibility and resonance frequency

진동감쇠율은 SS가 0.221, MS가 0.3465, VS가 0.333인 것으로 나타났는데, MS의 감쇠율이 SS의 감쇠율보다 크게 나타났다. 일반적으로 정적 스프링상수와 진동감쇠율은 서로 반비례하는 것으로 알려져 있으나, 정적 스프링 상수가 가장 큰 MS 시트가 진동감쇠율 또한 가장 크게 나타난 것은 차종간의 시트 구조의 차이 및 시트 자체의 재질 특성 때문으로 추측된다.

진동 감쇠율과 진동 전달률 및 공진 주파수와의 상관 관계를 보면 진동 감쇠율이 큰 MS 시트에서 진동 전달률이 작게 나타났으며, 공진 주파수는 크게 나타나 이론적인 측면과 일치하고 있다.

Fig. 4는 동적 특성인 진동 전달률과 공진 주파수 그리고 정적 특성인 히스테리시스 손실율과의 상관관계를 나타낸 그래프인데, 히스테리시스 손실이 증가함에 따라 공진주파수는 감소하였고, 전달률은 오히려 증가한 것으로 나타났다. 이것은 정적 스프링상수가 커지면 진동 감쇠율은 작아지고 전달률은 커지게 된다는 이론적 측면과는 차이가 있는데 이 역시 차종간의 시트 구조 및 시트 재질의 차이 때문으로 보인다.

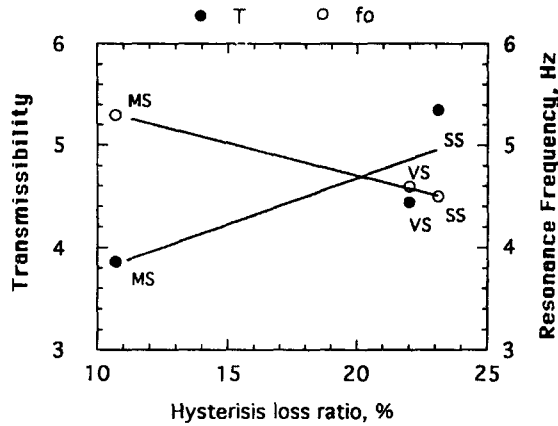


Fig. 4 Transmissibility and resonance frequency vs. hysterisis loss ratio

4. 결론

본 연구에서는 시트의 안락성을 평가할 수 있는 정적 동적 변수를 실험적으로 평가하고, 이들 변수간에 어떠한 상관관계가 있는가를 살펴보았다.

이상에서 보면 히스테리시스 손실과 진동 전달률 관계를 제외하고는 시트의 종류에 관계없이 각 변수간 상관관계가 이론적인 측면과 부합하는 것으로 나타났으며, 다만 히스테리시스 손실율과 진동전달률과의 상관관계가 차이를 보인 것은 차종에 따른 시트 구조와 재질의 특성 차이에 따른 데 그 원인이 있는 것으로 추정되지만, 이에 대한 보다 많은 연구가 필요하다고 본다.

5. 참고문헌

1. G.R Blare, R. So, A. Milivojevich, J.D. van Heumen, "Automotive Seating Comfort," SAE Technical paper 980656
2. A. Vertiz, J. Du, R. Gurrum, "Automotive Seat Vibration Influence on Occupant Comfort and Human Body Dynamic Response," Automotive Body Interior & Safety Systems, IBEC '96.
3. J. Lee, P. Ferriaiuolo, "Seat Comfort," SAE Technical paper 930105