

〈논 문〉 SAE NO. 96370136

테이퍼 판스프링 적용 차량의 승차감 향상에 관한 연구

A Study on Improving Ride Quality of the Commercial Vehicle

김 동 우,* 임 종 훈**
D. W. Kim, J. H. Lim

ABSTRACT

The tapered leaf spring is regarded as the adequate tool to improve ride quality and to reduce vehicle weight of commercial vehicles. These effects are due to minimizing the contact area of each leaf by reducing the number of leaves and by optimizing the thickness profile of each leaf. But in adapting the tapered leaf spring to improve ride quality, we often have some problems of bad pitching and bouncing motion. This paper shows the basic properties of tapered leaf spring by rig tests and how to improve ride quality of a vehicle with tapered leaf springs, compared with multi-leaf spring. From the results of vehicle tests and rig tests it is concluded that the ride quality was effected by the dynamic spring rate and the friction of the tapered leaf spring.

주요기술용어 : Tapered leaf spring (테이퍼 판스프링), Ride quality (승차감), Hysterisis curve (하중변위 이력곡선), Viscous damping (점성감쇠), Dynamic spring rate (스프링상수)

1. 서 론

대형 차량의 현가 장치에 사용되는 판스프링은 다판스프링이 대부분이었으나 차량 경량화와 승차감 향상 등의 목적으로 테이퍼 판스프링의 적용이 점차 확대되고 있다. 다판스프링을 동일한 강성의 테이퍼 판스프링으로 교체 장착시에 피칭과 바운싱의 크기가 증대되어 오히려 승차감이

나빠지는 문제가 제기되어 개선 적용에 상당한 시간과 노력이 필요하였다.

본 연구에서는 피칭과 바운싱이 테이퍼 판스프링의 어떠한 특성들에 의하여 증대되는지를 검토하여 개선 방향을 제시하고자 하였다.

유압 가진 시험 장치에 의한 시험과 실차 시험을 수행하여 판스프링의 판간 마찰력과 동적 스프링 상수가 승차감에 미치는 영향을 확인하였고 2자유도 모델을 구성하여 전산 해석을 수행하는 데 있어 판스프링의 이력 곡선으로 부터 감쇠계수를 계산하여 이용함으로써 데이터의 신뢰성을

* 정회원, 전북대학교 기계공학과
** 현대자동차 상용제품개발연구소

높여 해석 결과가 실차 시험 결과와 유사하게 접근 할 수 있도록 일조하였다.

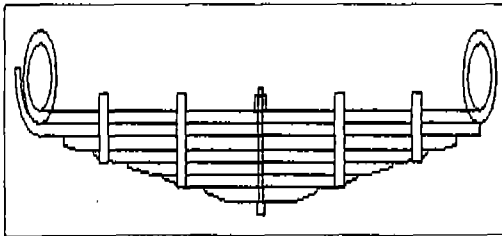
2. 이 론

2.1 정적 및 동적 스프링 상수 특성

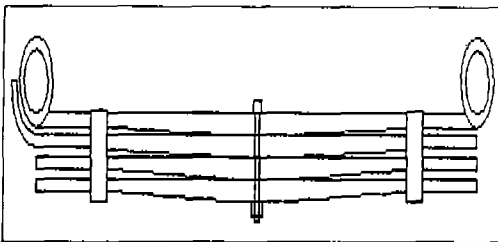
테이퍼 판스프링과 다판스프링의 형상은 Fig. 1과 같으며 이러한 판스프링의 하중 변위 선도(이력 곡선)는 일반적으로 Fig.2와 같다^{1)~3)}.

판스프링에 정적 하중을 가하면 변위는 선 ABC를 따라 증가하고 하중을 제거하면 선 CDA 또는 선 CD'A를 따라 감소한다. 이때 판간 마찰력이 작은 스프링일수록 직선 BD의 폭은 좁아진다. 여기에서 선 ABC의 기울기를 정적 스프링 상수라 한다.

비교적 작은 변위 구간에서 하중의 변화가 주어진다면 판스프링은 E-B-F-D-E 또는 E'-B-F-D'-E' 점을 따라 이력 곡선이 생긴다. 이때 선 EF, 선 E'F의 기울기를 동적 스프링 상수라 한다.



(a) Multi leaf spring



(b) Tapered leaf spring

Fig.1 The shape of tapered leaf and multi leaf spring

2.2 스프링 판간 마찰에 의한 감쇠력의 수식적 검토

판간마찰에 의해 어느정도의 감쇠가 이루어지는지를 수식적으로 검토해 보았다.

에너지 손실이 있는 곳에는 감쇠가 존재한다. 감쇠는 일반적으로 비선형이므로 계산으로 다른 종류의 감쇠의 중첩은 신뢰성 있는 결과를 주지 못한다. 단순한 수학적 모델을 세우려면 다른 종류 감쇠의 점성 등가를 검토하여야 한다. 감쇠에 있어 에너지 손실은 Fig.3과 같은 이력곡선의 면적에 의해 측정된다^{4),5)}.

Fig.4와 같은 1자유도계를 고려할 때 점성 또는 다른 감쇠 메카니즘 DM에서 감쇠가 발생한다.

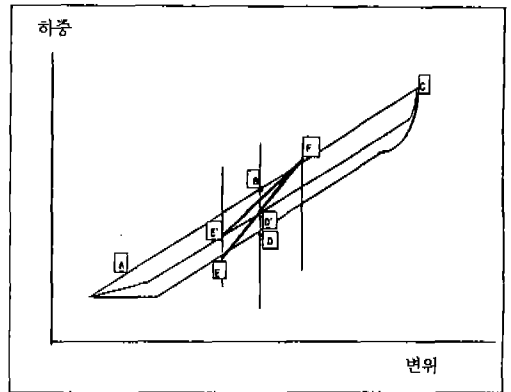


Fig.2 Force-displacement diagram

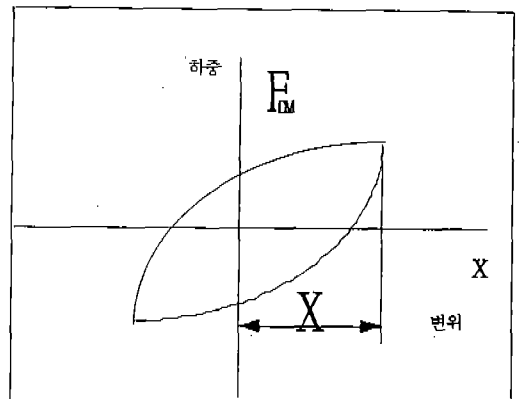


Fig.3 Hysteresis curve of leaf spring

그림에서 만약 $x_1=0$, $x=x_2-x_1$, $F(t)$ 는 정현파라고 하면 운동 방정식은 식 (1)로 표현된다.

$$m\ddot{x} + F_{DM} + kx = F \sin \omega t \quad (1)$$

F_{DM} : 감쇠력(Damping Force)

단위 Cycle당 에너지 손실 E는 식 (2)이다.

$$E = \int F_{DM} dx = \int F_{DM} \dot{x} dt \quad (2)$$

t: 단위 Cycle당 시간

점성 감쇠라면 변위 $x(t)$ 와 감쇠력 F_{DM} 은

$$x = X \sin(\omega t - \varphi) \quad (3)$$

$$F_{DM} = c\dot{x} = \omega c X \cos(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

이며 c는 점성 감쇠 계수이다.

식 (2)와 식 (4)를 조합하면

$$E = \int (c\dot{x})x dt = \pi\omega X^2 \quad (5)$$

따라서 등가 감쇠 계수 c를 얻을 수 있다.

$$c = \frac{\Delta E}{\pi\omega X^2} \quad (6)$$

이러한 수식을 사용하여 이력곡선으로부터 감

쇠계수를 구하여 보면 해당 차량의 다판스프링은 0.3229Kgf·s/mm, 테이퍼 판스프링은 0.1227 Kgf·s/mm로 테이퍼 판스프링의 수준이 다판스프링의 40%이하로 나타났다. 이 값은 뒤에서 2 자유도 모델 해석의 입력 데이터로 사용된다.

3. 판스프링의 시험 및 고찰

3.1 단품시험(Rig Test)

3.1.1 시험조건 및 방법

판스프링의 정적 및 동적 스프링 상수와 판간 마찰력을 구하고자 유압 가진 시험 장비를 이용하여 가진 주파수와 변위를 변화시키면서 정적 이력 곡선과 동적 이력 곡선을 측정하였다.

동적 이력 곡선을 얻기 위해서는 스프링의 실사용 조건에 근사시키고자 초기 하중은 830Kgf, 가진 주파수는 1Hz, 2Hz, 3Hz로 각각 하였다. 이것은 차량이 적차상태에서 앞쪽 스프링이 받는 하중과 피칭과 바운싱 주파수를 각각 의미한다.

3.1.2 정적 및 동적 스프링 상수

동적 이력 곡선에서 계산된 동적 스프링 상수는 Fig.5, 6에서 보는 바와 같이 가진 주파수의 영향은 미소하며 변위의 증가에 따라 감소하는 경향이다.

다판스프링이 테이퍼 판스프링 보다 변위 증가에 따라 변화 정도가 크다.

이것은 정적 스프링 상수에 대한 동적 스프링 상수의 비로 보면 더욱 확연하게 확인할 수 있다. Fig.7 다판스프링이 테이퍼 판스프링 보다 변위가 작은 경우 더욱 큰 스프링 상수 비를 가지며 변위가 증가하더라도 20% 정도 높은 비를 갖는 것을 알 수 있었다.

3.1.3 스프링 판간의 마찰력

테이퍼 판스프링은 판의 매수가 적어 판간 마찰력이 감소함에 따라 감쇠가 부족하여 승차감에 악영향을 미칠 수 있다.

Fig.8에 보인 바와 같이 가진 진폭이 증대하면 미미하나마 판간의 마찰력은 다판스프링 및 테이퍼 판스프링 모두 증가하였다. 그러나 테이퍼 판스프링의 판간 마찰력은 다판스프링의 30~50

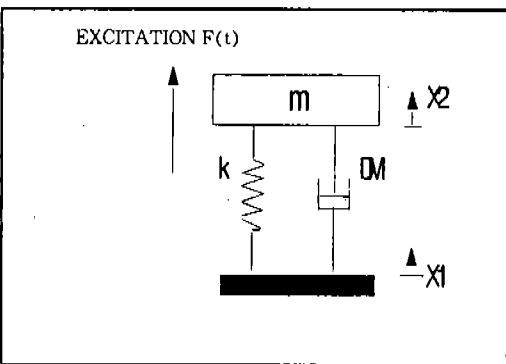


Fig.4 One degree of freedom model

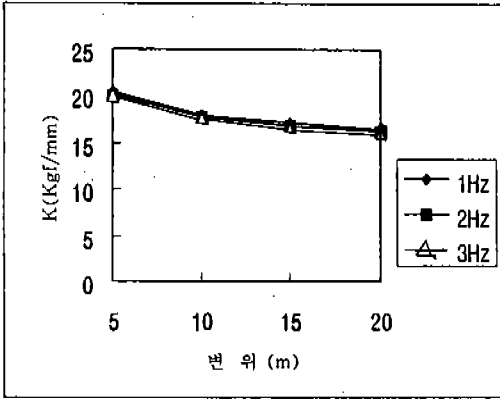


Fig.5 The spring rate change(tapered leaf spring) with varying displacement and excitation frequency

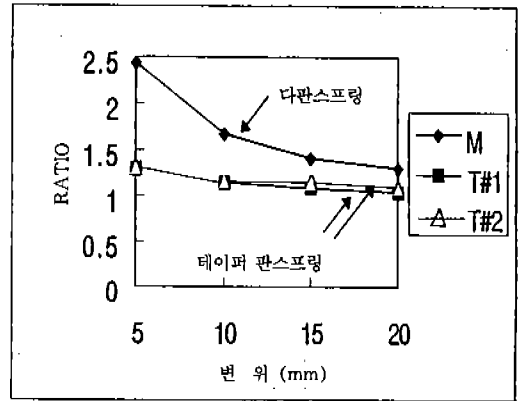


Fig.7 The ratio of dynamic spring rate to static spring rate

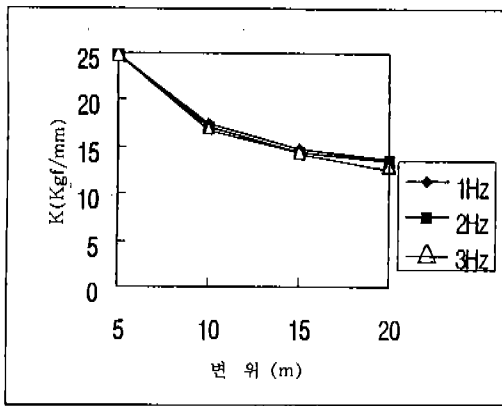


Fig.6 The spring rate change(multi leaf spring) with varying displacement and excitation frequency

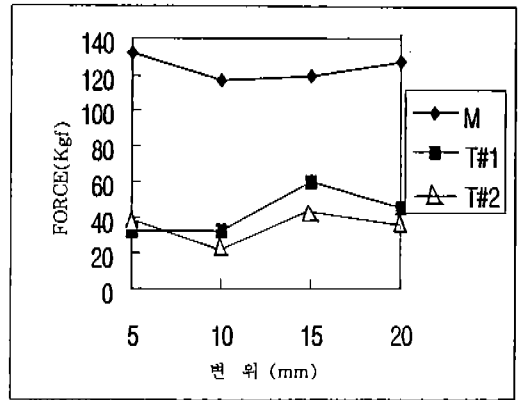


Fig.8 The relation between displacement and friction of leaf spring

% 수준으로 작았다. 따라서 테이퍼 판스프링을 사용할 때에는 감쇠력의 증대가 필요한 것을 알 수 있다.

3.1.4 단품 시험 결과 고찰

차량의 주행시에는 동적 스프링 상수가 승차감에 직접적인 영향을 미친다. 설계 및 시험시에는 정적 스프링 상수만을 검토 함으로써 다판스프링으로 기존에 잘 설정된 차량에서 테이퍼 판스프링으로 변경시에는 정적 스프링 상수를 상당량 증가시켜야 하였다. 소형버스에서 승차감 향상을

위한 테이퍼 판스프링 적용시의 현가장치 조정결과를 보더라도 정적 스프링 상수가 대폭 증대된 것을 알 수 있다(표 1).

3.2 실차 시험 및 고찰

3.2.1 실차시험 조건 및 방법

시험차량의 전륜 현가장치의 스프링과 속업쇼바(Shock Absorber) 감쇠력을 변경하면서 승차감의 변화를 확인하여 보았다.

적용된 스프링의 정적 및 동적 스프링 상수와

Table 1 The turned result of mini-bus

	변경전 (MULTI)	변경후 (TAPER)
정적 SPRING RATE (kgf/mm)	10.4	15.1
	13.1	18.7

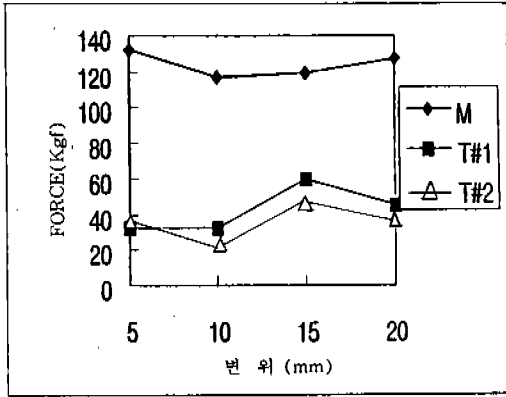


Fig.9 The spring rate of multi and tapered leaf spring

속업쇼바(Shock Absorber)의 감쇠력 특성은 Fig.9, 10와 같다.

차량하중은 적차상태이며 평탄한 아스팔트로 60KPH와 정현파를 갖는 모형로 40KPH로 주행하여 운전석 하단 상면(floor)의 진동 가속도를 측정하여 진동 PSD를 구하였다.

3.2.2 실차시험 결과 고찰

먼저 다판스프링 1종과 테이퍼 판스프링 2종으로 비교한 결과 Fig.11과 같이 나타났다.

다판스프링의 정적 스프링 상수가 가장 작은 데도 불구하고 피칭과 바운싱 주파수가 평탄한 아스팔트에서 높은 것은 Fig.11에서 보인 바와 같이 동적 스프링 상수를 고려한다면 설명이 가능해진다.

다판스프링의 경우 평탄한 아스팔트와 같이 변위가 작은 노면에서 작동 할 경우 동적 스프링 상수가 높아지고 모형로와 같이 노면 변위가 커지면 동적 스프링 상수가 대폭 감소하기 때문에 피크 주파수가 높은 곳에서 나타난다.

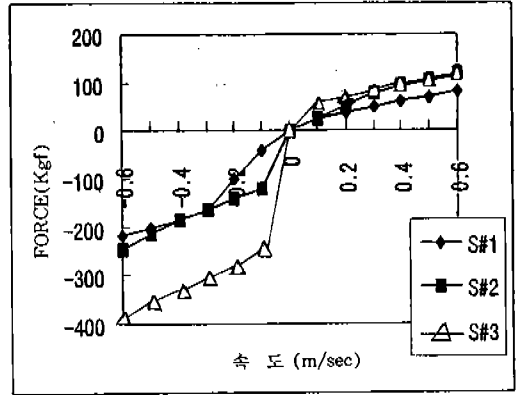
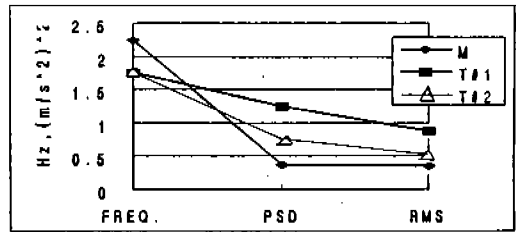
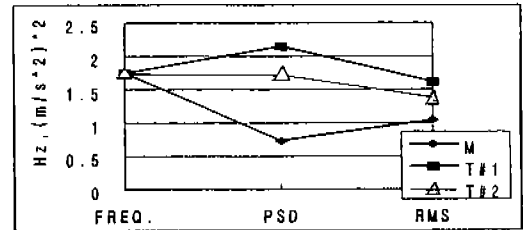


Fig.10 The damping force of shock absorbers



(a) The general road at 60KPH



(b) The sine wave road at 40KPH

Fig.11 The test results with varying spring characteristics

테이퍼 판스프링은 가속도 피크값과 1-3Hz 영역의 가속도 RMS 값은 역시 감쇠력의 감소로 크기가 증대하여 승차감이 나빠지는 것을 확인할 수 있었다.

테이퍼 판스프링(T#1)을 고정시키고 그림 9와 같은 감쇠력 특성을 갖는 속업쇼바들을 각각 변경한 경우 Fig.12와 같이 나타났다.

대체적으로 속업쇼바 감쇠력을 증대 할 경우 피칭과 바운싱의 진동가속도 크기는 감소하나 시험품 2번(S#2) 처럼 다소 모형로에서 처럼 작동변위(속도)가 증대될 경우 오히려 나빠지는 것은 속업쇼바 작동 속도가 빠른 구간에서의 과도한 감쇠력으로 노면의 가진력을 그대로 차체에 전달하여 폭을 증대시킨 것으로 판단된다. 시험품 3번(S#3)은 두 노면에서 모두 양호한 결과를 얻고 있는데 시험품 1번(S#1)과 비교해 보면 작동 속도가 저속인 영역에서 감쇠력이 큰 반면 고속 영역에서는 비슷한 감쇠력을 가지는 것을 알 수 있어 피칭과 바운싱 크기의 저감을 위해서는 저속영역에서의 감쇠력에 관심을 갖는 것이 필요한 것을 알 수 있었다.

3.3 판스프링의 전산해석

3.3.1 전산해석 조건 및 방법

시험차량에서 스프링 상수와 속업쇼바의 감쇠력의 조합으로 피칭과 바운싱 특성을 검토하는 것은 수많은 노력이 필요하므로 간단한 모델을 구성하여 해석하여 보았다. 차량 모델은 Fig.13

에서처럼 10개의 물체와 조인트로 구성되는 구속조건식 및 초기조건으로 구성된 2자유도로 구성되어 있다.

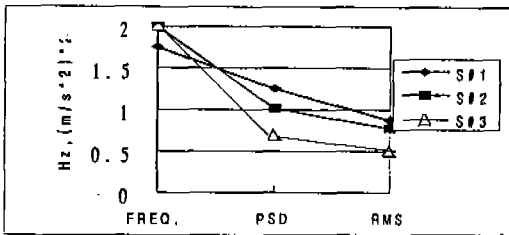
2자유도는 차체(Sprung)의 피칭과 바운싱 운동이며 차체(Sprung)와 차체하부질량(Unsprung) 사이에 마찰요소를 삽입하여 동점성 계수 변화에 따른 차체(Sprung)의 운동 양상을 주파수 영역에서 검토하였다.

시뮬레이션 조건은 차속 60KPH, 불규칙 노면형상에서 100m 주행하였으며 평가항목은 차량 시험과 동일하게 운전석 상면(Floor)의 상하 가속도 PSD로 비교하였다.

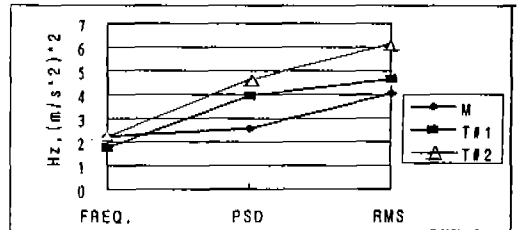
3.3.2 전산해석 결과 고찰

결과는 Fig.14와 같다.

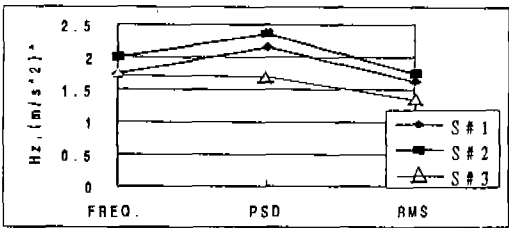
피크 주파수는 1.75~2.25Hz에서 나타나 차량 시험 결과와 유사하였다. 스프링 변경에 있어 피크 주파수에서의 PSD 크기와 1~3Hz 전 영역을 고려한 RMS 치의 크기는 차량시험 결과와 유사하게 테이퍼 판스프링이 다판스프링 보다 증대하였으나, 테이퍼 판스프링 간의 크기는 변동이 있었다.



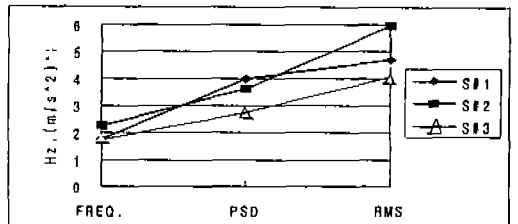
(a) The general road at 60KPH



(a) The spring ratio change



(b) The sine wave road at 40KPH



(b) The damping force change

Fig.12 The test results with varying damping force of shock absorbers

Fig.13 The simulation results

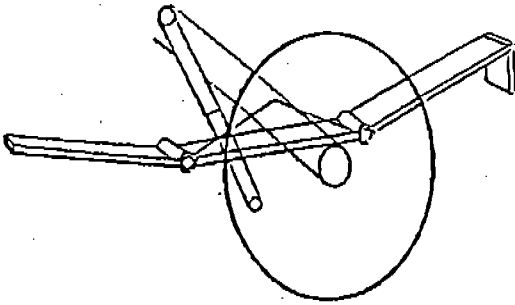


Fig.14 Front suspension model of a vehicle

속업소바 변경에서는 피크치의 배열이 차량시험과 동일하며 RMS 치도 유사한 경향이있다. 이러한 결과는 가진조건을 불규칙 노면형상이 아닌 실제 노면을 사용하고 주파수분석 과정에서 평균화 횟수를 1회 이상으로 증대한다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

4. 결 론

- 1) 테이퍼 판스프링의 정적 스프링 상수가 다판스프링과 유사할 경우 테이퍼 판스프링의 동적스프링 상수와 판간 마찰에 의한 감쇠력은 현저하게 저하하였다. 이러한 요인에 의하여 차량에서는 피칭과 바운싱의 주파수가 낮아지면서 크기는 증대되는 현상이 발생하므로 차량의 승차감 향상을 위해서는 동적 스프링 상수와 감쇠력을 고려한 설계가 필요하다.

본 연구 결과를 고려했을 경우 테이퍼 판스프링의 정적 스프링 상수를 차량 사용 조

건을 고려하여 양호한 도로에서는 50% 이상, 험로에서는 20% 이상 올려야 다판스프링과 유사한 동적 스프링 상수를 갖게되며 판간 마찰에 의한 감쇠력은 테이퍼 판스프링이 다판스프링의 40% 이하 수준이므로 이것을 고려하여 속업소바의 감쇠력을 증대하되 작동 속도가 다소 작은영역(0.2m/sec 이하)에서 중점적으로 증대를 검토하여야 하겠다.

- 2) 2자유도 모델 구성으로의 시뮬레이션을 수행하는데 있어 판스프링의 감쇠 계수를 실측 데이터로 부터 구하여 이용함으로써 결과의 신뢰성을 증대할 수 있었다. 실차 시험 결과에 더욱 접근하기 위해서는 노면 입력 조건 및 출력 데이터의 주파수 분석 처리 과정에 대한 검토가 있어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 스프링 기술연구회, "Spring의 설계", 일본, 환선(주), 1978.
2. 평가법 소위원회, "On the Test Method of Laminated Leaf Springs", 일본, 스프링 논문집 제23호, p. 82~107, 1978.
3. K. Chishima, "On the Optimum Interleaf Friction Force of Laminated Spring", 일본, 스프링 논문집 제16호, pp, 40~46, 1971.
4. Ahid D. Nashif, "Vibration Damping", A Wiley-Interscience Publication, 1985.
5. Francis S. Tse, "Mechanical Vibrations", Allyn and Bacon INC.(USA), 1978.