

철도차량 현가장치 강성변화가 주행중 진동에 미치는 영향연구

A Study on the Effect of Running Vibration Caused by Suspension Stiffness Changes of Subway Vehicles

박남철*, 구정서*†, 유원희**

Nam Cheol Park*, Jeong Seo Koo*†, Won Hee You**

Abstract A suspension system of subway vehicles is composed of 1st and 2nd spring. The suspension system is the most important parameter of running vibration. Application of the 1st suspension with a strong stiffness is the main design direction in order to improve the running performance at a high speed, but it causes severe vibration problems of the vehicle. In this paper, it was studied how much the stiffness changes of the 1st suspension in EMU(Line 5), which consists of chevron rubber springs, has effects on the vibration of the subway vehicle. We measured the chevron rubber spring stiffness and the vibration of the subway vehicle. We found out that if 35% (0.7kN/mm) of the vertical stiffness exceeded over the standard vertical spring stiffness (2.0kN/mm), the maximum vibration acceleration to the vertical and lateral directions increased by 0.045g (58%) and 0.008g(10%), respectively.

Keywords : Suspension, Stiffness, Running performance, Vibration, Chevron rubber spring

초 록 철도 차량의 현가장치는 1 차와 2 차 현가장치로 구성되어 있으며, 주행 중 진동에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 특히, 현가장치에 있어서 강성은 설계단계에서 중요한 요소로서 강성(Stiffness)의 증가는 고속에서의 주행성능이 좋아지는 장점이 있는 반면에 주행 중 진동이 증가하는 요소로 작용된다. 본 연구에서는 서울도시철도 5 호선 차량의 1 차 현가 장치인 세브론 러버 스프링(Chevron Rubber Spring)의 강성(Stiffness)증가가 주행 중 진동에 미치는 영향 연구를 1 차 현가장치를 샘플링 하여 강성을 측정하였으며, 적정강성(2 kN/mm)에서 수직방향기준 0.7kN/mm (35%) 초과시 수직방향 최대 진동 가속도가 0.045g(58%), 횡방향 최대진동가속도가 0.008g(10%)증가되는 것을 확인하였다.

주요어 : 현가장치, 강성, 주행성능, 진동, 세브론 러버 스프링

1. 서 론

철도 차량의 현가장치는 1 차와 2 차 현가장치로 구성되어 있으며, 주행 중 진동에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 특히, 현가장치에 있어서 강성(Stiffness)은 차량 설계단계의 주요 설계변수로서 강성(Stiffness)의 증가는 고속에서의 주행성능이 좋아지는 장점이 있는 반면에 주행 중 진동이 증가하는 요소로 작용된다. 하지만 강성을 측정하기 위해서는 많은 시간과 비용이 들어 강성을 관리하기에는 많은 어려움이 있다

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과(koojs@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원

** 한국철도기술연구원

본 연구에서는 서울도시철도 5호선 차량의 1차 현가장치인 세브론 러버 스프링(Chevron rubber spring)의 강성 변화량을 측정했으며, 적정강성을 유지하고 있는 스프링 장착 차량과 강성이 증가한 스프링 장착 차량의 최대진동 가속도 크기를 비교해서 강성의 증가가 주행 중 진동에 미치는 영향에 대해 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 세브론 러버 스프링(Chevron rubber spring)

2.1.1 세브론러버 스프링의 물리적 특성

차륜의 종방향, 횡방향, 상하방향의 강성(Stiffness)이 서로 연성(Coupled)되어 세 방향의 독립적인 강성 선택이 곤란하며, 수직축에 임의의 각으로 고정되고, Fig. 1처럼 압축과 전단력을 받는다.

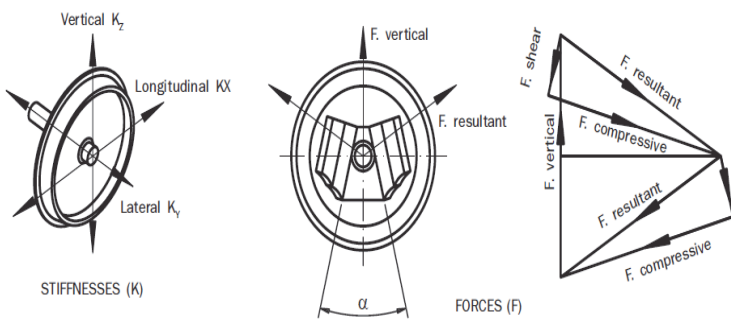


Fig. 1 Characteristics of the Chevron rubber

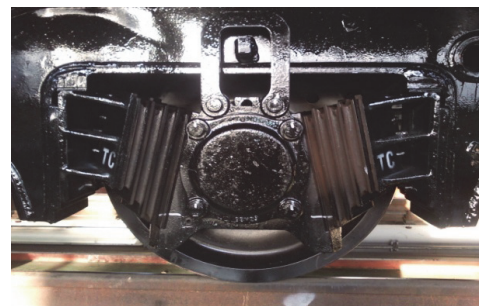


Fig. 2 Installed Chevron rubber

Table 1 Stiffness characteristics of the Chevron rubber

		Units	Motor car	
			Tare(40.0 kN)	Crush(75.0 kN)
Stiffness	Vertical stiffness gradient	K_v kN/mm	2.0	2.0
	Lateral stiffness	K_lat kN/mm	9.9	10.8
	Longitudinal stiffness	K_long kN/mm	21.5	24.8
Force	Forces per chevron	Fs kN	12	23
		Fc kN	45	79
		Fr kN	47	82
		Fy kN	21	37
		Fx kN	42	73

2.1.2 강성(Stiffness) 측정방법

Fig. 3은 세브론러버 강성 측정을 위해 시험기에 장착된 사진이며 Fig. 4는 강성의 측정 결과를 해석하는 방법으로 압축력(Force)를 증가 시켰을 때, 가장 선형성을 유지하는 구간의 처짐량(Deflection)을 측정하여 작용시킨 힘의 합을 처짐량의 합으로 나눈다.



Fig. 3 Installed chevron rubber spring for measurement

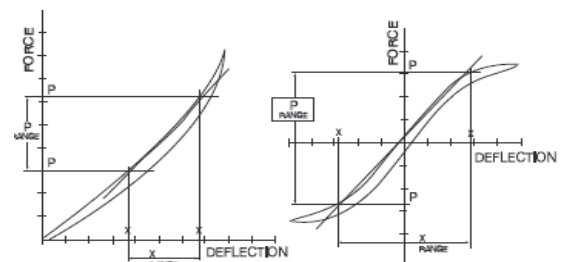


Fig. 4 Method of the stiffness measurement analysis

2.1.3 진동 측정 방법

고무부품이 철도차량의 진동에 미치는 영향에 대한 동특성을 이상적으로 구현하기에는 차량의 고유진동과 궤도 노반의 상호 운동에 의한 가진 형태에 따라 동적인 특성이 매우 다양하게 변화한다. 본 연구에서는 세브론 러버 스프링 강성 이외에는 동일조건으로 가정하고 서울 5호선 12역 구간에서 국내 철도차량에 준용되고 있는 객차 진동성능 기준으로 아래와 같이 진동을 측정하였다.

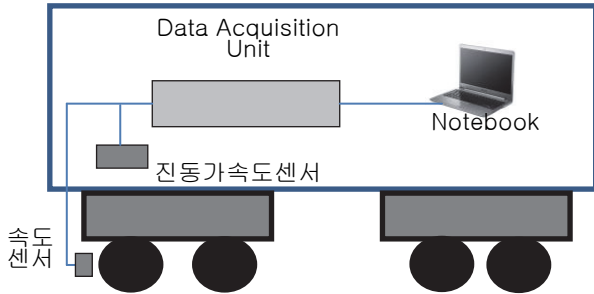


Fig. 5 Installed chevron rubber spring for measurement

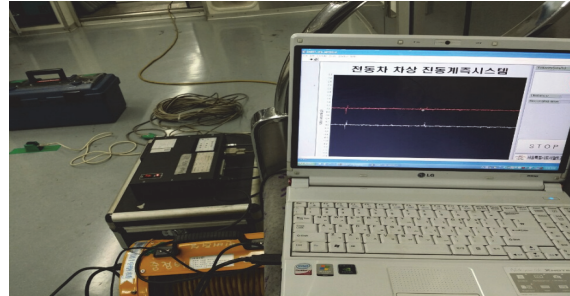


Fig. 6 Method of the stiffness measurement analysis

분석구간은 주행거리로 100m 단위로 구분하고 각 구간 내의 진동 가속도의 진폭(peak-peak) 중 최대치를 고주파성분을 제거하기 위하여 저주파 대역필터(cut-off frequency: 10Hz)를 이용하여 필터 처리한 후 구하고, 측정구간의 평균속도를 구해서 차량 속도를 5km/h 단위로 구분하여 속도 대역별로 최대 전진폭의 평균치를 구하여 중력단위인 2a(g)로 표시한다

2.2 측정결과

2.2.1 수직하중 측정

세브론 러버 스프링 약 16년 사용 경과품 8개(4set) 수직하중 강성 측정결과는 Fig. 7과 같이 계측되었다.

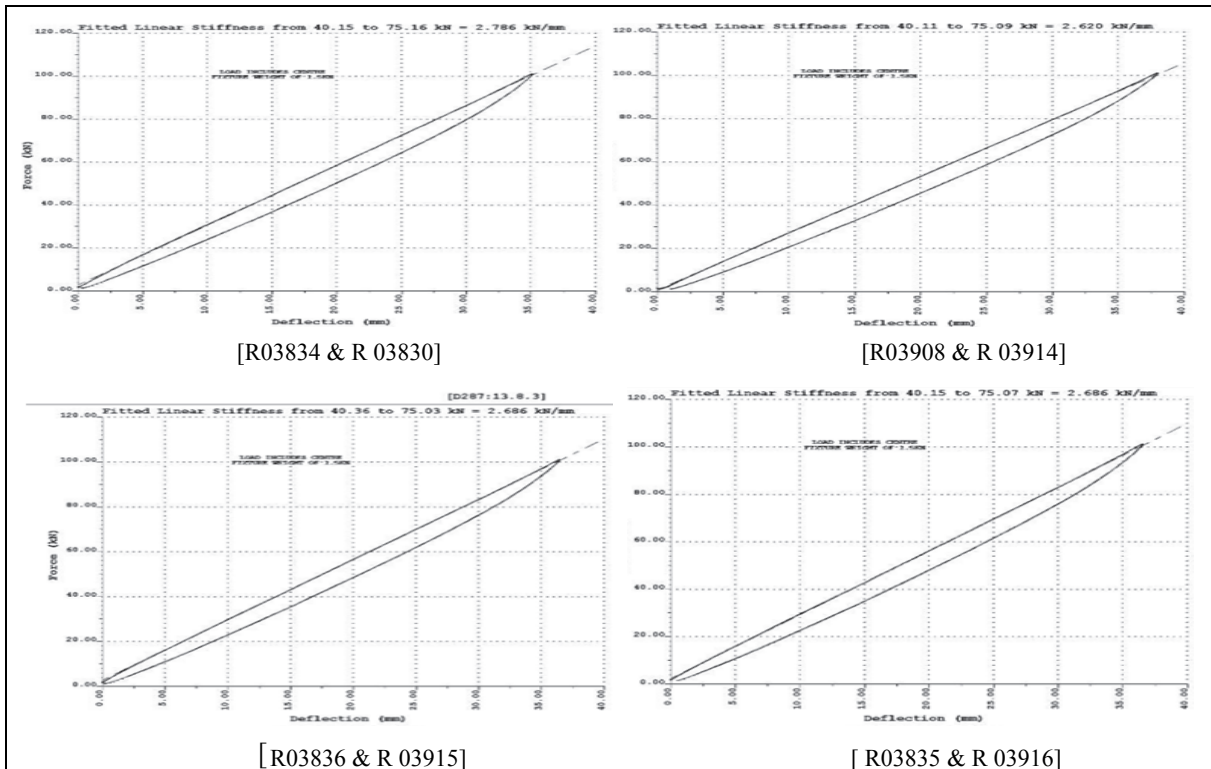


Fig. 7 The result of the Stiffness measurement

2.2.2 강성 측정 해석

세브론리버 스프링 약 16년 사용 경과품 8개(4set)수직하중 강성 측정결과 Table 2와 같이 기준 (2kN/mm) 대비 35%가 초과된 2.695kN/mm로 확인되었다.

Table 2 The result of the stiffness measurement

Serial number	Results (Standard 2kN/mm ±10%)		
	Force	Deflection	Amount of the change
R03834 & R 03830	40.15~75.16(kN)	2.786	+39%
R03908 & R 03914	40.11~75.09(kN)	2.620	+30%
R03836 & R 03915	40.36~75.03(kN)	2.686	+34%
R03835 & R 03916	40.15~75.07(kN)	2.686	+34%

2.2.3 진동측정

서울 도시철도 5호선 12개역 최대진동가속도를 측정한 결과는 Fig. 8과 같은 측정 결과를 얻을 수 있었다.

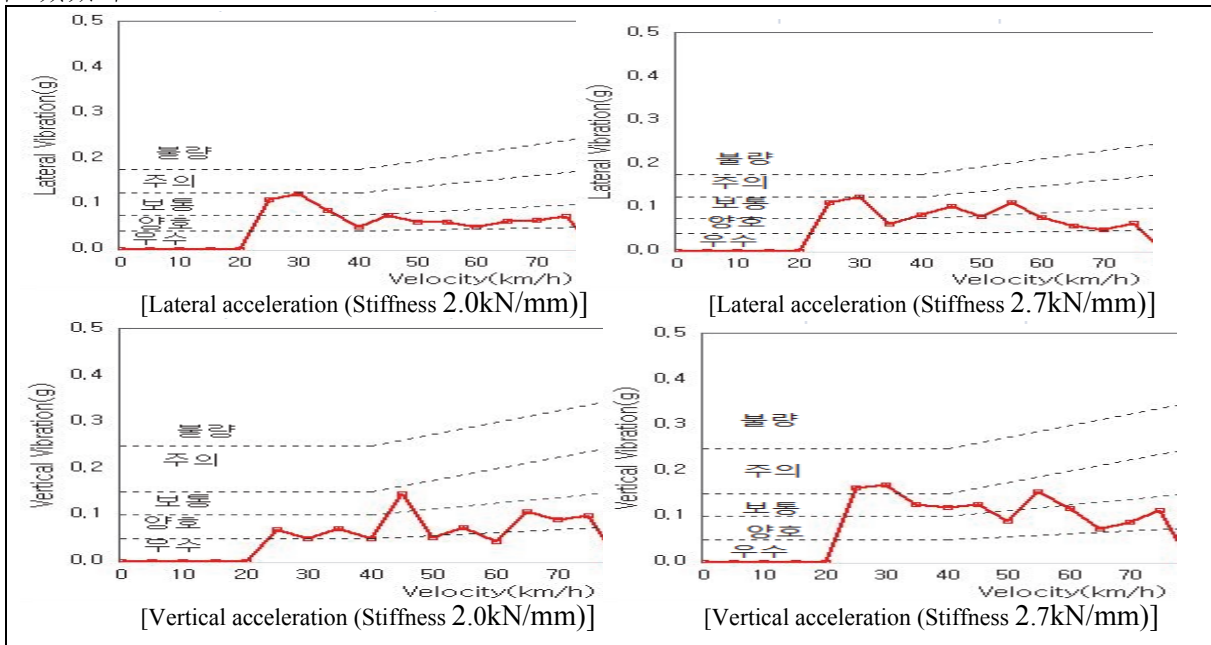


Fig. 8 The results of the acceleration measurement

2.2.4 진동측정 해석

진동측정 결과는 Table 3과 같이 횡방향 가속도는 강성이 2.0kN/mm 일 때 평균 0.074g에서 2.7kN/mm에서는 0.082g로서 0.008g(10.8%)증가하였으며, 수직방향 진동가속도는 강성이 2.0kN/mm 일 때 평균 0.077g에서 2.7kN/mm에서는 0.122g로서 0.045g(58%)가 증가하였다.

Table 3 The result of the acceleration measurement

Direction	Stiffness (kN/mm)	The result of the acceleration measurement (g)											
		Average	25 (km/h)	30 (km/h)	35 (km/h)	40 (km/h)	45 (km/h)	50 (km/h)	55 (km/h)	60 (km/h)	65 (km/h)	70 (km/h)	75 (km/h)
Lateral acceleration	2.0	0.074	0.109	0.122	0.086	0.050	0.075	0.060	0.061	0.049	0.061	0.063	0.073
	2.7	0.082	0.084	0.125	0.062	0.084	0.104	0.079	0.112	0.076	0.058	0.048	0.065
Vertical acceleration	2.0	0.077	0.069	0.050	0.070	0.050	0.147	0.050	0.074	0.044	0.107	0.090	0.099
	2.7	0.122	0.163	0.171	0.126	0.121	0.126	0.090	0.155	0.118	0.072	0.087	0.113

3. 결 론

서울도시철도 5호선 차량 1차 스프링인 세브론 러버 스프링 강성(**Stiffness**)이 초기 2.0kN/mm 대비 0.7kN/mm(35%)증가시 주행 중 횡방향 최대 진동 가속도는 평균 0.074g에서 0.082g로 0.008g (10.8%)증가하였으며, 수직방향 최대 진동가속도는 평균 0.077g에서 0.122g로 0.045g(58%)증가한 것으로 계측되어 전동객차 진동성능 기준에는 부합하는 것으로 측정되었으나, 강성의 증가는 진동에 영향을 주게 되어 승차감을 저하시키는 요소로서 작용되므로 적정 강성의 유지가 필요하다. 철도차량 주행 시뮬레이션 프로그램인 ADAMS/rail를 이용하여 세브론 러버 스프링 강성의 증가가 주행안정성에 미치는 영향을 연구를 더 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] S. Hyun, B.G. Eom, H.S. Lee (2008) A study on the analysis on running safety of railway vehicle according to the change of suspension stiffness, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 1622-1627.
- [2] J.Y. Jeon, J.S. Koo, Y.H. You (2012) A study on the lateral damper to prevent the abnormal impact noise and vibration (EMU Line5), Seoul National University of Science and Technology
- [3] Research Report (2002) A study to analyze of dynamic characteristics and evaluate test train on the rubber parts of the rolling stock, Korea Railroad Research Institute
- [4] TELLEBORG Industrial AVS Catalogues (2011), Vibration technology