

# 철도차량용 코니컬 고무스프링 특성 분석 연구

## Analysis on The Properties of Conical Rubber Spring for Railway Rolling-stock

허현무\*                      유원희\*\*                      박태원\*\*\*  
Hur, Hyun-Moo              You, Won-Hee              Park, Tae-Won

---

### ABSTRACT

The suspension system of railway rolling-stock is composed of the primary and secondary suspension elements. Recently, a conical rubber spring is widely used as the primary suspension element due to the merits of the three directional stiffness characteristics. So, understanding the properties and characteristics of the conical rubber spring is very important from the viewpoint of vehicle stability and efficient maintenance.

Thus, this study is started to acquire the basic data for maintaining spring elements efficiently. For this, we tested the conical rubber spring samples including a new and old specimen with aging. As a test result, we have obtained the property characteristics of the aged spring comparing with the new product and we describe the results.

---

### 1. 서론

철도차량의 현가장치는 1차, 2차 현가장치로 구성되어 있다. 전동차용 1차 현가장치 스프링요소로서 최근 3축방향 강성을 갖는 코니컬 고무형식의 축상스프링이 적용되고 있다. 이는 무보수화를 지향하는 철도차량 유지보수 측면에서 보면 코니컬 고무스프링은 내구 수명이 반영구적인 효율적인 현가요소라 할 수 있다. 한편, 최근 국내에서 운용중인 코니컬 고무스프링을 적용한 철도차량은 운용기간이 10년을 상회하고 있고 따라서 차량의 안정성 확보 관점에서 코니컬 고무스프링을 교체하고 있는 현황이다. 그러나 이 과정에서 스프링 교체에 따른 적정 사용연수 및 이와 관련된 유지보수 기준 마련이 미흡한 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 코니컬 고무스프링의 유지보수의 효율화를 위한 기초 데이터 획득을 위하여 신제품 및 노후 스프링을 대상으로 한 특성시험 연구를 수행하였다. 시험 결과, 신제품 고무스프링 특성과 대비한 노후 고무스프링의 특성시험 결과를 얻었으며 이에 대한 결과를 본 논문에 기술하고자 한다.

### 2. 코니컬 축상고무스프링

코니컬 고무스프링은 대차 1차현가계 구성요소로서 그림 1과 같이 윤축의 액슬박스를 지지하는 축상스프링 요소이다. 코니컬 고무스프링은 그림 2와 같이 강철 재질의 강심과 외층, 중간층, 내층의 3개 고무층 구조로 성형하여 제조된다. 전후(X-X), 좌우(Y-Y), 상하(Z-Z)방향의 3방향 강성을 갖고 있으며 좌우방향으로는 전후방향에 비하여 유연한 강성 특성을 갖도록 홈이 형성되어 있다. 전동차용 코니컬

---

\* 허현무, 회원, 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

E-mail : hmhur@krti.re.kr

TEL : (031)460-5245 FAX : (031)460-5289

\*\* 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

\*\*\* 아주대학교 기계공학과

고무스프링은 2종류로서 1종, 2종으로 구분되며 그 특성은 표1과 같다. 축방향(Z-Z)으로 부과되는 수직 하중에 따라 전후, 좌우방향의 스프링 강성이 상이한 특성을 나타낸다. 코니컬 고무스프링의 유지보수는 3Y 중간검수 과정에서 스프링 높이(H)를 측정하여 적정 높이를 유지 할 수 있도록 라이너를 삽입하는 공정을 포함한다. 통상적인 수명은 그림 3과 같은 크립특성을 고려하여 10년 내외로 추정하여 약 10mm 정도 변형하면 스프링을 교체하고 있는 현황이다.

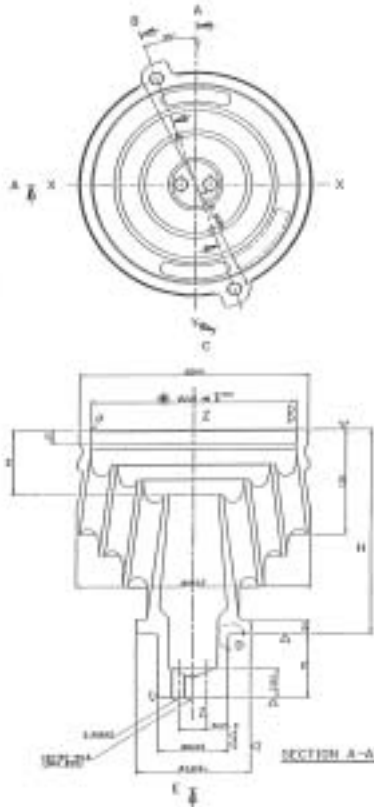


그림 2 코니컬 고무스프링 구조



그림 1 코니컬 고무스프링

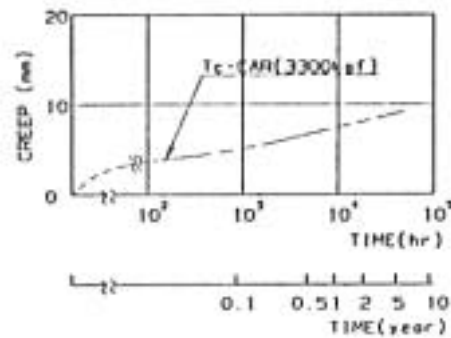


그림 3 크립 특성(1종)

표 1 전동차용 코니컬 고무스프링 성능

항 목		기 준				비 고
제품 시험	1) 정적스프링상수시험	1종 : 수직하중 12,749 ~ 32,362 N 에서 변위량 25±2.5mm일 것 2종 : 수직하중 18,633 ~ 37,265N에서 변위량 21±2.0mm일 것				
	2) 저온 정적스프링 상수시험	정적 스프링상수 변위량의 20%이내				
	3) 하중-처짐 특성 시험	1종(Tcar)		2종(Mcar)		
		수직하중(N)	스프링상수(N/mm)	수직하중(N)	스프링상수(N/mm)	
		16,818	814±88	22,202	892±98	
	4) 횡방향 스프링 상수시험	21,810	785±88	27,596	892±98	
		32,146	834±88	37,971	1,030±108	
		16,818	2,452±373	22,202	3,138±471	
	5) 길이방향 스프링 상수시험	21,810	2,942±471	27,596	3,678±559	
		32,146	4,021±608	37,971	4,707±706	
16,818		3,334±500	22,202	4,315±647		
6) 경도시험	21,810	3,923±588	27,596	4,903±735		
	32,146	5,050±755	37,971	5,982±902		
	57 Hs		61 Hs		KS M 6604	
7) 접착성시험	수직하중 176,520 N에서 이상 없을 것					
8) 압축시험	수직하중 49,033 N에서 크랙이 없을 것					
9) 피로시험	상수변화율 10 %이하, Creep: 6 mm이하					

※Ref.: 철도용품 표준규격, 철도2240-2520가 전동차용 고무스프링

### 3. 코니컬 고무스프링 특성시험

#### 3.1 시험 개요

코니컬 고무스프링의 특성 분석을 위하여 전동차 Tcar용 신품 및 노후 코니컬 고무스프링 시료를 대상으로 특성시험을 수행하였다. 신품은 최근 보수품으로 개발된 국산품 샘플을 시료로 하였다. 노후에 따른 특성 변화 분석을 위한 노후 스프링 시료는 9년 사용, 누적주행거리 1,539,000km의 폐기 대상 스프링을 샘플로 하였다. 특성시험은 한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 철도안전성능연구시험설비 스프링/댐퍼시험기를 이용하였으며 시험 방법 및 기준은 철도용품 표준규격, 철도2240-2520가 전동차용 고무스프링에 의거하여 전후, 좌우, 상하 3방향에 대하여 특성시험을 수행하였다.

그림 4는 수직방향 특성 시험을 위하여 고안된 지그 및 시험 전경을 나타낸다. 그림 5는 전후 및 좌우 방향 특성 시험을 위하여 고안된 지그와 시험기 취부 전경을 나타낸 그림이다. 수평방향 특성시험은 축 방향으로 일정한 하중을 재하하고 있는 상태에서 수평방향으로 하중-변위 특성시험을 실시한다. 본 시험에서는 16,500N, 21,500N을 축하중으로 하였으며 하중변동의 허용범위는  $\pm 500N$  수준으로 하였다. 시험은 각 각의 시료에 대하여 정적 스프링상수 특성, 진폭에 따른 스프링상수 특성, 주파수에 따른 스프링상수 특성을 분석하기 위하여 수행하였다. 표 2는 본 시험에 대한 개요를 나타낸다.



그림 4 수직방향 특성시험



그림 5 수평방향 특성시험

표 2 시험 개요

구 분	내 용
시 료	-specimen #1 : 신품스프링 -specimen #2 : 노후스프링(10년 운용, 누적주행거리 ****km)
시험장치	-현가요소성능시험설비(스프링/댐퍼시험기)
시험종류	-수직방향 · 정적스프링특성시험, 진폭특성시험(1~5mm), 주파수특성시험(0.1~5Hz) -수평방향 · 정적스프링특성시험, 진폭특성시험(2,4,6mm), 주파수특성시험(0.1~5Hz) · 축하중 : 16,500 $\pm$ 500N, 21,500 $\pm$ 500N
시험결과 분석	-정적스프링상수, 동적스프링상수, loss factor -Ref : JIS K 6396 Testing method of dynamic properties for rubber vulcanized or thermoplastic

### 4. 시험결과 분석

#### 4.1 크립 특성

시험품에 하중을 가하지 않는 상태에서 그림 1의 높이(H)를 측정하였으며 측정결과는 다음과 같다. 측정 결과 신품 시료의 높이(H)는 249mm, 노후 시료의 높이는 241mm로 크립으로 인한 변형은 약 8mm 정도 발생하였다.

#### 4.2 상하방향 특성

상하방향 정적 하중특성은 표 3, 그림 6과 같이 노후 시료의 하중에 대한 변형량이 저감되고 있으며 이에 따라 스프링상수도 약 20% 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림 7은 가진 진폭에 대한 스프링상수 특성을 보여주는 선도이며, 그림 8은 가진 주파수에 대한 스프링상수, loss factor 특성을 나타낸다.

표 3 상하방향 정적 하중 특성

구분	$\delta_{12,000}$ (mm)	$\delta_{30,000}$ (mm)	stiffness(kN/m)	H(mm)
specimen #1	13.9	37.1	771.9	249
specimen #2	12.9	31.4	971.4	241

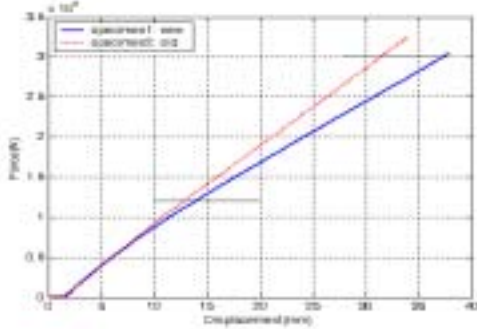


그림 6 상하방향 정적 하중 특성

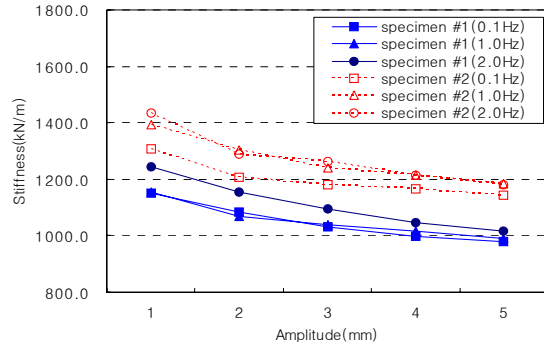
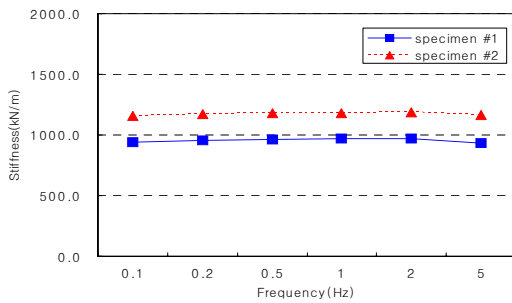
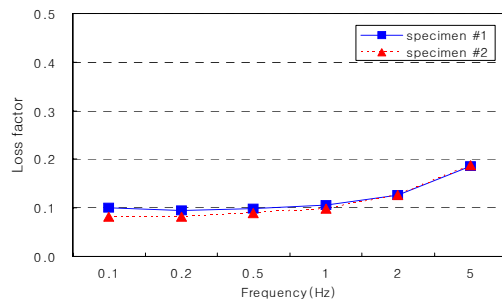


그림 7 가진 진폭에 대한 상하방향 스프링상수 특성



(a) 스프링상수



(b) loss factor

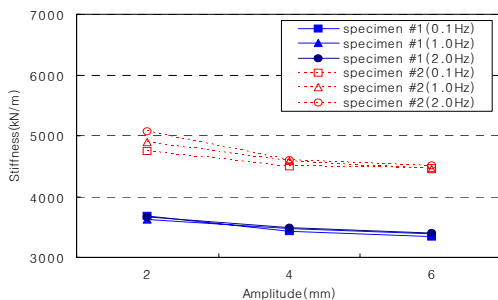
그림 8 가진 주파수에 대한 상하방향 특성 선도

### 4.3 전후방향 특성

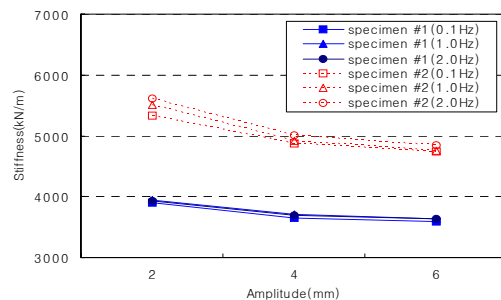
표 4는 전후방향 정적 하중특성을 나타낸다. 그림 9는 축하중별 가진 진폭에 대한 전후방향 스프링상수 특성을 나타내며, 그림 10은 가진 진폭에 대한 전후방향 loss factor 특성을 나타낸다. 그림 11은 가진 주파수에 대한 전후방향 특성을 나타내는 선도이다. 노후에 따라 스프링상수 값은 신품 대비 정적 하중 약 25%, 진폭 특성 약 30%, 주파수 특성 약 30% 정도 증가하는 경향을 보이고 있으며 loss factor 값도 증가하는 경향을 보이고 있다.

표 4 전후방향 정적 하중 특성

축하중(N)	specimen #1	specimen #2	편차(%)
16,500	3260.6	4375.4	25.5
21,500	3534.0	4701.1	24.8

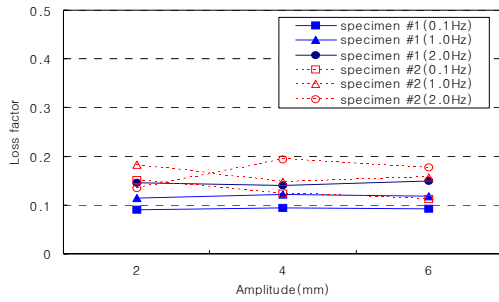


(a) 16,500N

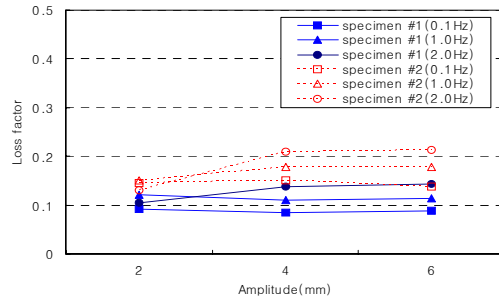


(b) 21,500N

그림 9 가진 진폭에 대한 전후방향 스프링상수 특성

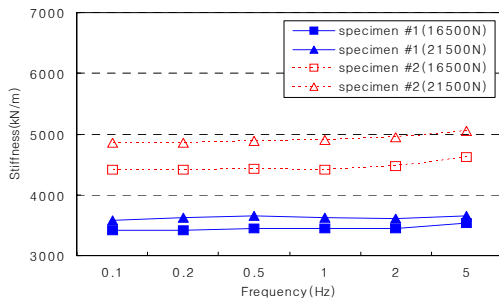


(a) 16,500N

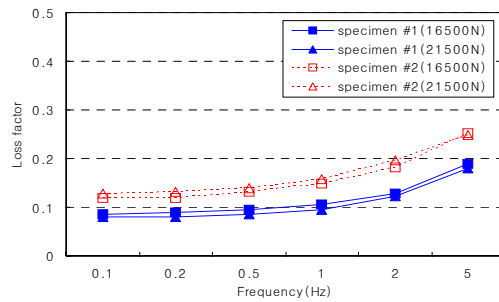


(b) 21,500N

그림 10 가진 진폭에 대한 전후방향 loss factor 특성



(a) 스프링 상수



(b) loss factor

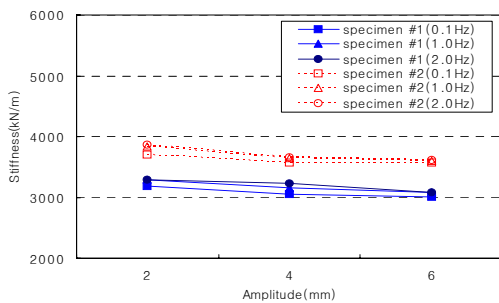
그림 11 가진 주파수에 대한 전후방향 특성 선도

#### 4.4 좌우방향 특성

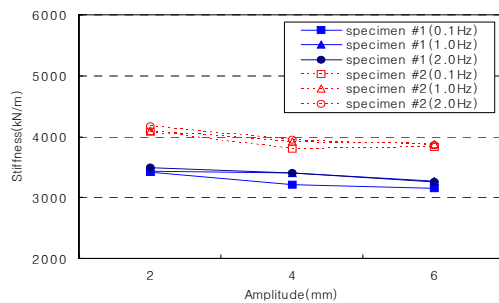
표 5는 좌우방향 정적 하중특성을 나타낸다. 그림 12는 축하중별 가진 진폭에 대한 전후방향 스프링상수 특성을 나타내며, 그림 13은 가진 진폭에 대한 전후방향 loss factor 특성을 나타낸다. 그림 14는 가진 주파수에 대한 전후방향 특성을 나타내는 선도이다. 노후에 따라 스프링상수 값은 신품 대비 정적 하중 약 15%, 진폭 특성 약 16%, 주파수 특성 약 16% 정도 증가하는 경향을 보이고 있다. loss factor 값은 전후방향에 비하여 미미한 수준으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

표 5 좌우방향 정적 하중 특성

축하중(N)	specimen #1	specimen #2	편차(%)
16,500	2913.8	3453.6	15.6
21,500	3050.6	3747.7	18.6

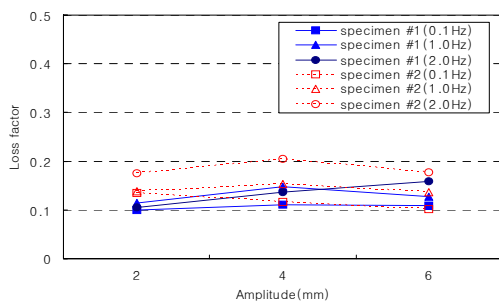


(a) 16,500N

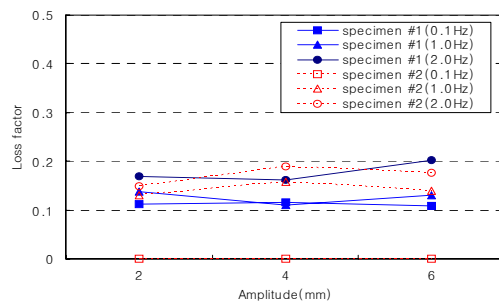


(b) 21,500N

그림 12 가진 진폭에 대한 좌우방향 스프링상수 특성

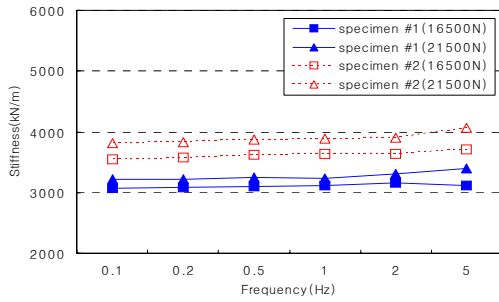


(a) 16,500N

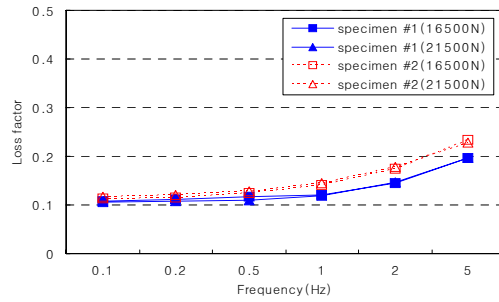


(b) 21,500N

그림 13 가진 진폭에 대한 좌우방향 loss factor 특성



(a) 스프링 상수



(b) loss factor

그림 14 가진 주파수에 대한 좌우방향 특성 선도

위와같이 각 시험항목에 따라 노후에 따른 스프링 특성 변화를 분석한 결과를 정리하면 그림 15, 그림 16과 같다. 노후에 따른 정적 스프링 특성 변화는 전후방향 약 15%, 좌우방향 약 25%, 상하방향 약 20% 이상 증가하는 경향을 보이고 있다. 동적 스프링 특성 변화는 전후방향 약 30%, 좌우방향 약 15%, 상하방향 15% 이상 증가하고 있다. 이는 운용일수, 누적주행거리 증가에 따라 고무의 경년 변화로 인한 강성이 증가함에 기인한 결과라 할 수 있다.

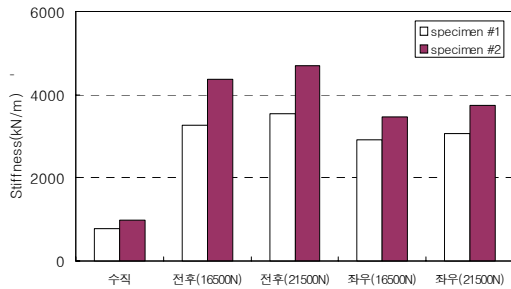


그림 15 정적 스프링특성 변화

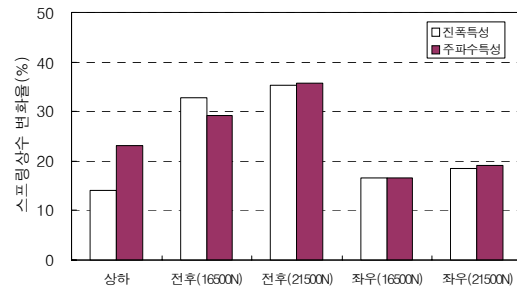


그림 16 동적 스프링 특성 변화

## 5. 결론

코니컬 고무스프링의 노후에 따른 특성 변화 분석을 목적으로 신품및 노후 스프링을 대상으로 한 특성시험 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 9년간 누적주행거리 1,539,000km 운용한 노후 고무스프링 샘플의 크립 변형은 약 8mm 정도 발생하였다. 정적 스프링 특성 변화는 전후방향 약 15%, 좌우방향 약 25%, 상하방향 약 20% 이상 증가하는 경향을 보이고 있다.
- 동적 스프링 특성 변화는 전후방향 약 30%, 좌우방향 약 15%, 상하방향 15% 이상 증가하는 특성을 보이고 있다.

전반적으로 사용연수, 주행거리 누적에 따라 스프링상수 특성이 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 스프링상수의 증가는 차량의 거동, 승차감과 같은 동적 특성에 영향을 줄 수 있으므로 특성 변화에 따른 차량측 영향에 대한 연구가 차량 안전및 승객 서비스 향상 차원에서 추후 연구되어야 할 분야라 할 수 있으며, 유지보수의 효율화 측면에서는 좀 더 많은 고무스프링 시료를 대상으로 한 특성 분석 연구가 수행되어 고무스프링에 대한 효율적 유지보수 기준 도출에 기여할 수 있는 연구가 지속적으로 수행될 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. JIS K 6396 Testing method of dynamic properties for rubber vulcanized or thermoplastic
2. 철도용품 표준규격, 철도2240-2520가 전동차용 고무스프링
3. M. Suzuki, A. Hamada, T. Shimomura, " Analysis of properties of three-layered conic rubber spring for axle-box supporting system", RTRI Report Vol.18, No.10, 2004.10