

전동차용 코니컬 고무스프링 신뢰성 평가

Reliability Evaluation of Conical Rubber Spring for Electric Trains

우창수*[†], 박현성*, 박동철**

Chang Su Woo*[†], Hyun Sung Park*, Dong Chul Park**

초 록 전동차용 1차 현가장치에 사용되는 원추형 고무스프링은 차량과 승객의 하중지지와 진동 및 소음을 줄이는 역할을 수행한다. 원추형 고무스프링의 특성 및 수명예측은 차량의 안전성 및 신뢰성을 보장하는 설계 및 제작과정에 매우 중요하다 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 원추형 고무스프링의 특성을 파악하기 위해 고무소재에 대한 비선형 재료상수를 결정하여 유한요소 해석을 통해 하중과 변위관계를 예측하고 평가하였으며, 3차원 덤벨시편의 피로시험을 통해 구해진 변위와 피로수명과의 관계와 유한요소 해석에서 임계위치에 발생하는 최대 변형률의 관계를 이용하여 원추형 고무스프링의 피로수명을 예측하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법에 의한 원추형 고무스프링의 예측수명은 실제 피로시험을 통해 얻어진 수명과 잘 일치함을 알 수 있었다.

주요어 : 전동차, 원추형 고무스프링, 피로수명, 신뢰성 평가

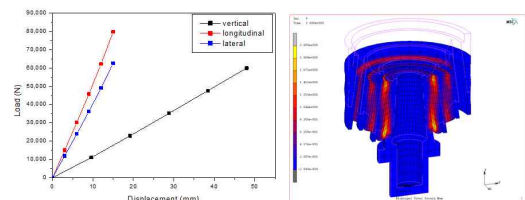
1. 서 론

전동차의 진동과 소음을 줄이기 위해 현가장치에 사용되는 방진고무스프링은 고속 주행 시 안정성 및 승차감 향상에 중요한 역할을 담당하며 차량과 승객의 안전운행에 직결되므로 절대적 신뢰성이 요구되는 요소부품이나 현재 전량 수입에 의존하고 있어 선진기술보유국에서 기술 후발국에 대한 철저한 기술 장벽과 높은 기술료 등을 요구하고 있는 실정이라 기술 종속 탈피와 독자 기술의 확보를 위해서는 관련 고무부품의 개발이 절실하다 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 전동차 1차 현가장치에 사용되는 코니컬 고무스프링에 대해 유한요소해석과 시험을 통해 특성을 파악하고 또한, 고무부품의 피로수명을 예측할 수 있는 방법을 제안하여 원추형 고무스프링의 신뢰성을 평가할 수 있는 기술력을 확보하는데 기여하고자 한다.

2. 원추형 고무스프링 신뢰성 평가

2.1 원추형 고무스프링 특성평가

원추형 고무스프링 특성해석은 각 방향의 강성을 구하기 위해 우선 수직방향 강성을 구한 후, 수직방향 하중을 받는 상태에서 길이방향 및 횡방향의 하중이나 변위를 작용시켜 길이방향 강성과 횡방향 강성을 구하였다. Fig. 1(a)는 수직방향, 길이방향, 횡방향에 대한 하중과 변위관계를 나타낸 것으로 수직방향의 강성이 길이방향과 횡방향의 강성보다 훨씬 낮음을 알 수 있었으며 이는 차량의 승차감에 수직방향의 강성이 크게 작용함을 알 수 있었다. 또한, Fig. 1(b)는 수직방향으로 48mm의 압축변위를 주었을 때의 변형률 분포로 최대변형률은 안쪽 고무층에서 발생하였다.



(a) Load-displacement (b) Strain distribution

Fig. 1 Stiffness and strain distribution of conical rubber spring

[†] 교신저자: 한국기계연구원 (cswoo@kimm.re.kr)

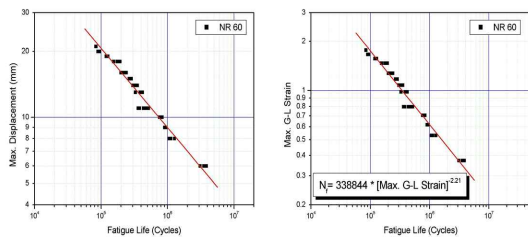
* 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

** 디엠에스알

2.2 원추형 고무스프링 피로수명예측

원추형 고무스프링의 피로수명을 예측하기 위해서는 우선 동일한 고무재료의 피로 수명선도가 있어야 하므로 본 연구에서는 피로하중에 의한 최대인장 및 압축 변형률을 재현할 수 있는 3차원 덤벨형 피로 시편을 설계, 제작하여 피로시험을 수행하여 Fig. 2(a)와 같이 최대인장변위와 피로 수명과의 관계선도를 도출하였다. 또한, 피로시편에 대한 유한요소해석으로 구한 인장변위와 변형률과의 관계를 이용하여 Fig. 2(b)와 같이 그린-라그랑지 변형률 (Green-Lagrange strain)과 피로수명과의 관계식을 도출하였다. 원추형 고무스프링에 대한 피로수명을 예측하기 위해 수직방향의 특성해석 결과로 최대 그린-라그랑지 변형률은 첫번째 적층부에서 약 0.296로 나타났다. 발생된 최대 변형률을 피로수명 예측식에 대입하면 방진고무스프링의 피로 수명은 약 500만회로 예측되었다.

원추형 고무스프링에 대한 피로수명을 평가하기 위해 유압식 피로시험기를 이용하여 $32,950 \pm 9,806\text{N}$ 의 하중을 3Hz로 300만회 피로시험 결과, 미소 크랙 및 파손이 발생하지 않았으며 피로시험 후 특성변화율과 크립(creep)량도 기준을 만족함을 알 수 있었다.



(a) Displacement-fatigue life (b) G-L Strain-fatigue life
Fig. 2 Fatigue lifetime curve of conical rubber spring

3. 결론

본 연구에서는 철도차량용 1차 현자장치에 사용되는 원추형 고무스프링에 대해 유한요소해석을 통해 특성을 평가하여 철도차량에 적합한 원추형 고무스프링을 설계하였으며 또한, 3차원 덤벨시편의 피로 시험을 통해 구해진 변위와 피로수명과의 관계와 유한요소 해석에서 발생하는 최대 변형률의 관계를 이용하여 원추형 고무스프링의 피로수명을 예측하는 방법을 제안

하였다. 본 연구를 통해 고무부품의 설계·해석기술을 통한 독자적인 설계기술과 신뢰성을 고려한 고무부품의 특성평가기술 확보로 선진 기술보유국으로부터의 기술중속을 탈피하였으며 관련기술은 철도차량, 자동차, 산업기계 및 기타 산업분야로의 기술 파급효과가 기대되며 고무제품의 신뢰성 확보로 국제 경쟁력이 강화될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] R. K. Luo, W. X. Wu, P. W. Cook, W. J. Mortel (2004) An approach to evaluate the service life of rubber springs used in rail vehicle suspensions, *Journal of Rail and Rapid Transit*, 218(2), pp.173-177.
- [2] R. K. Luo, W. X. Wu (2006) Fatigue failure analysis of anti-vibration rubber spring, *Engineering Failure Analysis*, 13(1), pp. 110-116.
- [3] R. K. Luo, W. X. Wu, P. W. Cook, W. J. Mortel (2003) Fatigue design of rubber springs used in rail vehicle suspensions, *Journal of Rail and Rapid Transit*, 217(3), pp.237-240.
- [4] C. S. Woo, W. D. Kim, J. D. Kwon (2008) A study on material properties and fatigue life prediction of natural rubber component, *Materials Science and Engineering*, 483-484, pp.376-381.