

극한 온도에서의 철도차량용 현가부품의 특성연구

A Study on the Characteristics of the Suspension Components of Rolling Stocks in the Very low Temperature

최병일* · 나희승** · 장승호***

Byoung-il, Choi , Hee-seung, Na and Seung-ho, Jang

Key Words : 내한성, 현가장치, resistivity, suspension, characteristics, low temperature

ABSTRACT

This study is a preview of characteristics of (1st/2nd) rubber suspension parts in low temperature, it will be researched before Trans Korean Railway and continental railway network connection. Rubber material characteristics are different to steel materials. Behavior of rubber material shows large deformation in hyper-elastic region. Moreover, added dashpot and low temperature condition shows various non-linear characteristics.

1. 서 론

철도차량의 고무 현가장치는 크게 1차 현가장치와 2차 현가장치로 나뉘는데 1차 현가장치는 1차적으로 차량의 운행에 직접 연관되는 휠의 부담력을 감쇄하는 현가장치로 쉐브론 스프링이나 최근에 이를 대체하기 위하여 개발이 이루어진 무보수형 고무현가장치 등이 있으며 2차 현가장치로는 객차나 화차 등의 대차 상부구조물과 대차 간에 현가계를 유지함으로써 객실의 진동감쇄 등을 목적으로 승차감을 높이는 공기스프링 등이 있다. 이와 같은 현가장치는 차량의 주행성, 안정성, 승차감등에 중요한 역할을 하며 또한 차량에 가해지는 Static/ Dynamic force를 감쇄함으로써 각종 부품 및 레일의 손상을 완화시키는 작용을 한다.

향후 기대되는 남북통일에 대비하여 경의선-동해선 철도 연결사업이 진행되고 있으며, 중국, 러시아를 통하여 유럽에 이르는 대륙철도 연계사업이 점쳐지는 시점에서 한국은 동아시아의 물류거점으로 새로이 재편될 것이다. 이를 위하여 대륙철도의 중추역인 남한에서 원활한 물류의 소통을 위해 극복해야할 여러 가지 일 중에서 북한 및 만주일대, 러시아 등지의 고위도 저온지역에서 운행하게 될 대륙철도 연계 열차의 운행 안전성 및 신뢰성이 보장되어야 하고 고

속화 대응량화가 이루어져야 한다. 이에 대한 세부적인 사항으로 차량의 고무 현가장치가 저온지역에서 기계적으로 우수한 성능을 유지하여야 한다.

2. 현가장치

공기스프링

공기스프링의 경우에는 현가 특성에 알맞은 스프링을 선택하여야 한다. 쉐브론 스프링이나 무보수형 고무현가장치와 같은 1차 현가장치의 경우에는 운동 발생부의 1차적인 스트로크를 완충하기 때문에 스트로크형 에어스프링, 그리고 객차 하부의 에어스프링과 같은 경우는 운동에 의해 전달된 응력을 감쇄하여야 하는 2차 현가장치의 경우에는 마운트형 에어스프링을 선택하여야 한다.

하 중:W

$$W = A \times P$$

$$A = D e^2 \frac{\pi}{4}$$

P는 내압 A는 유효압력 면적을 나타내며 에어스프링의 동적성질을 이해하기 위해 동적용수철정수를 결정하여야 한다.

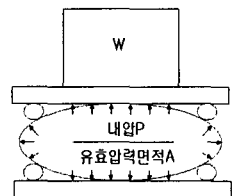


Fig. 1 에어스프링의 구조

$$K = \frac{\gamma \times P a \times A^2}{V s + V t} + P \left(\frac{dA}{d\delta} \right) \quad (1)$$

$$\left(\text{벨로즈형의 경우는 } P \left(\frac{dA}{d\delta} \right) = \frac{P \times D e \times \pi^2}{4 n} \right)$$

γ 는 폴리트로픽수를 나타내며 static 1.0, dynamic 1.4의

* 한국철도기술연구원 남북철도사업단 연구원
E-mail : bichoi@krti.re.kr
Tel : (031) 400-5762, Fax : (031) 400-5759

** 한국철도기술연구원 남북철도사업단 책임연구원

*** 한국철도기술연구원 남북철도사업단 선임연구원

값을 가진다. Vs와 Vt는 에어스프링과 보조탱크의 체적을 가리킨다. De는 유효직경, n는 벨로즈 단수, Pa는 절대압, $dA/d\delta$ 유효면적변화율을 나타낸다.

에어스프링의 공진현상을 파악하기 위해서 고유진동수를 비롯하여 진동전달률을 확인한다.

진동전달률 λ 는 강제진동수 f와 고유진동수 f_n 으로 나타

$$\lambda = \frac{100}{\left(\frac{f}{f_n}\right)^2 - 1} \quad (2)$$

낼 수 있다. 또한 보조탱크 이용시 에어스프링과 보조탱크의 열결부에 구멍을 넣으면 감쇄를 일으켜 에어스프링의 공진을 막을 수 있다.

$$da^4 = \frac{4}{3\pi} \frac{W_0 \times A \times X_0}{W} \cdot \sqrt{2} Ct \quad (3)$$

$$\cdot \frac{(1 + K\beta)^3}{1 + K\beta - 0.5Ct} \cdot De^4$$

da는 최적조임지름을 나타내며, t는 온도, W₀는 공기비중량, X₀는 기초의 진폭을 나타낸다. 마지막으로 에어스프링의 용량을 결정하는 리프트력(F)은

$$F = \frac{\pi}{4} De^2 \times P = A \times P \quad (4)$$

로 나타내며 이와 같은 수식적인 검증을 거쳐서 에어스프링을 선택하여야 한다. 철도차량용 공기스프링의 경우에는 safe seal 형태의 횡강성이 뛰어나며 유지보수가 편리한 형태의 에어스프링을 적용하는 편이 좋다.

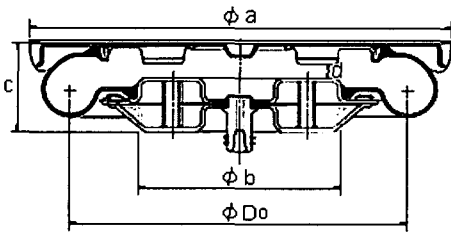


Fig. 2 철도차량에 사용되는 에어스프링

이와 같은 형태의 에어스프링은 부피가 작아서 설치에 유리한 점이 있다. 여기에 벨로즈 형태의 공기용수철을 적용하게 되면 부차 높이의 비율에 스트로크를 크게 취할 수 있고, 급유의 필요가 없게 보수가 극히 간단해진다. 내압을 바꾸면, 거의 비례해 용수철 정수가 바뀌므로 이로써 부하 하중 범위를 넓게 취할 수 있고, 방진효과를 얻

을 수 있다. 또한 보조 탱크를 붙여 공기 용수철과의 연결부에 조임을 마련하면 공기 감쇠에 의해 공진을 막을 수 있다. 자동 높이 레벨링 밸브를 사용하면, 부하 하중이 바뀌어도, 항상 지지체의 높이를 일정하게 유지할 수 있다. 그리고 금속 용수철 비해 쇠도 현상이 일어나지 않고, 방음 효과가 뛰어나다.

3. 고무재료의 저온특성

고무재료는 일반적으로 다른 재료에 비하여 신축성이 뛰어난 고탄성(Hyper elastic)재료이다 이와 같은 성질 때문에 끊임없이 현가장치나 타이어 표면에 입력되는 변동하중에 유연하게 대처할 수 있다. 그러나 반복적인 고무재료의 인장/수축/원형회복의 현상에서 육안으로는 확인할 수 없지만 고무가 지닌 엔트로피의 감소로 자체의 강성을 조금씩 잃는 것을 고무재료의 시험을 통해 확인할 수 있다. 고무 재료는 이러한 특성에 부가적으로 유리 전이 온도(Tg)라는 탄성을 손실하는 임계점을 가진다. 보통 상온에서는 염두에 둘 필요가 없는 특성이지만 북한의 저온지역이나 러시아등지를 운행하게 될 열차의 부품으로서의 큰 문제가 될 수 있다.

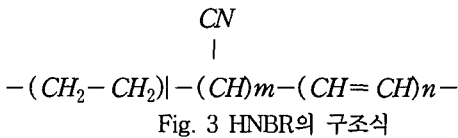
수소화 NBR(HNBR)

HNBR은 대표적인 내유성 고무인 NBR의 내열성·내후성을 개량하는 것을 목적으로 하는 고무이다. 수소화 반응

Table 1. 고무의 분자구조와 물성(NBR)

구분	성질변화의 일반적인 경향								시험법	
	대 ↑	대 ↑	대 ↑	소 ↓	대 ↑	대 ↑	대 ↑	대 ↑		
공중합 조성	AN	합량	강도	내유성	내한성	내열성	내마모성	내약품성	비중	결합 니트릴 양 분석
		소 ↓	소 ↓	소 ↓	대 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	
		소 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	소 ↓	
고무분자구조	분자량	대 ↑	좋아짐			어려움			mooney점도 측정	
		합량	강도 등의 기계적 성질			가공성				
	가교도	소 ↓	나빠짐			쉬움			mooney점도 gel 함유량 측정	
		고 ↑	나빠짐			어려움				
결합 방식	중합 온도	고 ↑	감소 ↓	증가 ↑		분자전반 향상 ↓			x선해석, 적외선흡수스펙트럼	
		온도	트랜스,1,4결합		비닐,1,2결합					
		저 ↓	증가 ↓		감소 ↓					

에 있어서 주요 분자 연결고리에 포함된 잔존 이중결합의 양이 줄어들지 않음으로서(수소화율이 높아짐) 폴리머 고유의 내열성, 내후성, 내화학약품성 등이 개량되는 효과를 나타낸다. 또한 종래의 내유성 고무에 없는 높은 기계적 강도 특성을 겸비하고 있다. 가교에는 NBR과 마찬가지로 유황 또는 유기과산화물이 사용된다. 일반적으로 수소화율이 90% 정도의 HNBR은 가교제에도 사용되지만 수소화율이 95%를 초과하는 주요 분자연결고리 중에 이중결합의 양이 줄어들지 않기 때문에 유황의 가교는 곤란해지게 된다.



HNBR은 NBR의 경우와 마찬가지로 결합되는 AN의 양의 증가와 함께 내유성은 향상되지만 내한성은 저하되기 때문에 상반되는 관계가 있다. 하지만 HNBR의 수소화율도 내한성에 큰 영향을 주게 된다. HNBR의 결합 AN양과 요오드 함유율에 대하여 폴리머의 유리전이온도의 영향을 아래 확인할 수 있다. 이에 따라서 HNBR의 폴리머 유리전이온도는 결합AN양뿐 아니라 요오드의 영향을 크게 받게 된다. 다음은 고무의 내한성 시험의 하나인 저온탄성회복시험(T-R시험)의 결과이다.

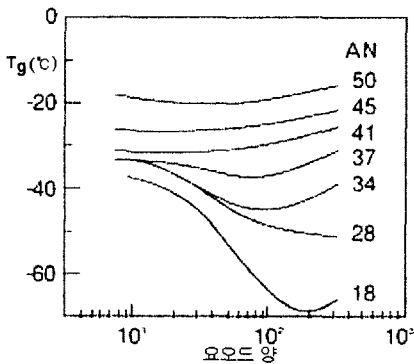


Table 2 요오드의 양이 HNBR의 Tg(유리전이온도)에 미치는 영향

NR/BR compound

한국 기계연구원의 고무화학연구소에서 개발한 합성고무로서 기계적 성능이 우수한 NR(천연고무)의 특성과 내한성이 우수한 BR(부타디엔고무)의 합성 compound로서 고무의 분자요소 결합시 발생하는 각각의 고무요소의 장점을 취하되 부족한 특성은 부가적인 첨가물로서 보완하는 내한성/기계적 성능을 모두 만족하는 compound이다. 제조방법으로

는 NR compound에 유리전이온도가 낮은 BR을 첨가하게 된다. 또한 오일의 함량을 높여 고무분자 사슬의 운동을 원활히 하여 NR compound의 유리전이온도를 높인다. 제조시 첨가하는 재료로는 SMR 20, BR 01, ZnO, Stearic acid, SRF, P#1 oil, RD, BLE, PVI. DM, TT, Sulfur 등이 첨가되며 용도에 따라서 첨가물의 비율이 변동이 되는데 이중 가장 중요한 요소인 천연고무(SMR 20), 부타디엔 고무(BR 01), 오일(P#1 oil)의 첨가량이다. 시험은

Table 3 고무시험의 시험방법

시험의 종류	형 식
강 도	ISO 3387
경 도	ISO 812, ASTM D736
인 장	-
온 도 반 응	ISO 2921, ASTM D1349
Gehman test	ISO 1432, ASTM D1053
압 축	ISO 1653
결정화 후 압축	ISO 6471

이와 같은 규격에 의하여 진행되었으며 BR함량의 증가로 인한 stress/strain의 감소, 저온(약-40°C)이하에서 modulus의 증가가 나타나지만 BR과 Oil의 첨가로 증가율을 낮출 수 있었고 각 NR과 BR의 Tg에서 저장탄성계수의 전이와 높은 손실계수를 나타낸다. 이와 같은 NR/BR blend compound와 같은 경우는 기계적 성질을 크게 변화시키지 않는 한도 내에서 배합비율을 조절하여 방진고무를 제조되 시험을 통하여 검증이 반드시 필요할 것이다.

4. 결 론

현재 국내 철도차량의 1차 2차 현가장치에 대한 연구는 이미 상당히 많이 연구가 되어있다. 하지만 이는 국내의 실정에 상응하는 연구에 밖에 미치지 못하였다. 그러나 북한이나 러시아의 고위도 저온지역을 운행하게 될 열차의 부품에 있어서 내한성을 가지며 항상 우수한 기계적인 성질을 유지할 수 있는 부품의 개발이 필요하기에 이르렀다. 우선적으로 고무현가부품에 대하여 연구를 시작하게 되어 고무재료의 물질적인 특성으로 저온에서는 모듈러스가 급격히 증가하며 고탄성영역에서 소성영역으로의 물성 전이를 일으키는데 이러한 영향을 줄이는데 있어서 HNBR에 요오드를 첨가한 고무의 선택이나 NR/BR 블렌드 컴파운드에 첨가 오일의 양을 설정한 컴파운드의 선택을 할 수 있을 것이다. 그러나 실용화 이전에 실제운행 조건의 설정과 이에 적합한 고무의 제조, 그리고 이후의 실제 현가장치의 모델 구현 및 시험이 추가적으로 이루어져야 한다. 현재는 문헌에 근거하여 -60°C이하에서 충분히 기계적 성능을 발휘할 수 있는 고무소재의 개발에 상

당부분 진척을 이루었고 전문적인 고무 부품의 제조사의 노하우에 이론적인 근거를 접목시킨다면 내한성 고무소재의 개발은 요원한 일이 아니다. 그리고 북한 및 러시아 등을 운행하게 될 실차의 하중 및 곡선 구배 등을 고려한 1차 2차 현가부품이 받을 수 있는 예상 하중을 정확히 추측하여 현가장치의 유지, 보수를 고려한 실제 사용기간을 고려하여 응력을 해석하고 이러한 조건을 충족할 수 있는 사양의 선택(슬리브형/벨로즈형/특수형) 및 에어스프링의 모델링이 이루어져야 하며 마지막으로 시제작품의 시험도 반드시 거쳐야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 철도시스템 선진화 기술연구(차량성능 핵심기술연구)사업의 일환으로 수행된 연구결과와 일부입니다.

참 고 문 헌

- (1) 윤태호 등, 2004, “철도차량 고무현가부품의 내한성 시험기준연구”, 한국기계학회.
- (2) Bridgestone corporation, 2004, “Technical paper of Bridgestone rubber products”, Bridgestone. corporation, Japan
- (3) 김완두 등, 2000, “고무류 기계부품의 통합설계 시스템 개발”, 과학기술부.
- (4) 東京材料株式會社, 2001, “技術 Forum”, 東京材料株式會社
- (5) 堤 厚博 外, 2000, “變動荷重用防振ゴムの設計技術”, 防衛庁 技術研究本部
- (6) Trelleborg AB co., 2004, “Trelleborg technical report” Trelleborg AB co.
- (7) 김완두 등, 2004, “저온환경에서 NR/BR 블렌드 조성비 및 오일함량이 방진고무재료의 기계적 특성에 미치는 영향”, 한국기계연구원