

철도차량 고무 현가부품의 내한성 시험기준연구

윤태호[†] · 장승호* · 최병일* · 이찬우** · 나희승*

A Study on the Test Standards at Low Temperature of Rubber Suspension Components of Railway Vehicle

Yoon Tae-Ho, Jang Seung-Ho, Choi Byoung-Il, Lee Chan-Woo, Na Hee-Seung

Key Words: rubber suspension(고무현가부품), test standard(시험기준), low temperature(저온)

Abstract

In this paper, the standard test methods at low temperature of rubber suspension components of railway vehicle are investigated and reviewed. In order to connect the TKR(Trans-Korean Railway)-TSR(Trans-Siberian Railway), it is necessary to evaluate the performance of rubber suspension components of railway vehicle. In the current Korean Standard, the test method at low temperature of railway vehicle components and the test method of rubber bellows of air spring are specified. But, the specified test temperature is higher than the the operating temperature of TSR railway. So, the in-depth research for the test method and performance evaluation technique of rubber suspension component at low temperature is necessary and current KS code should be adjusted.

1. 서 론

21세기 남북관계 회복으로 경의선·동해선 연결공사가 진행 중이며, 남북철도 및 대륙철도 연계가 가시화되고 있으나 대륙철도 네트워크의 통합에 대한 연구 부족 등을 직시하고, 남북철도가 동북아물류의 중심역할을 수행하기 위해서는 대륙철도의 효율적 통합방안에 대한 객관적이고 장기적인 대륙철도 기술개발 필요하며 특히 기온이 -50℃까지 내려가는 동북아·시베리아지역의 극한 환경에서 대륙철도차량의 운행안전이 보장되고 고속화를 하려면 차량 현가 및 제동 시스템이 극한온도조건 하에서 원활히 작동되어야 한다.⁽¹⁾ 철도 차량의 고무 현가부품인 쉘브론 스프링

(chevron spring)과 공기 스프링(air spring)은 각각 철도 차량의 1, 2차 현가장치 부품으로서 차량의 동력학적 특성과 밀접한 관계를 가지고 있으며 차량의 주행 안정성 및 승차감에 중요한 역할을 한다. 특히, 차량의 운동에 따른 제반 정·동적 하중을 완화시켜 차량 부품 및 궤도의 손상을 방지하고 승객과 화물에 전해지는 진동, 소음을 최소화 시켜주는 역할을 수행한다. 공기스프링의 경우 하중변화에 따라 레벨링 밸브를 통해서 압력을 조정하여 하중에 관계없이 모든 조건에서 동일한 승차감을 느낄 수 있다.

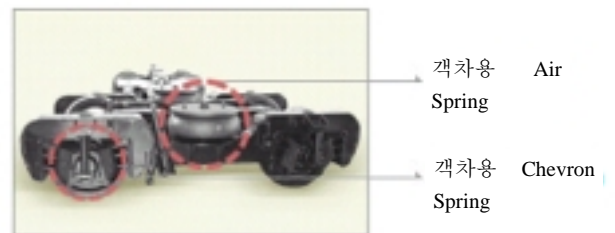


Fig. 1 Rubber suspension components of railway vehicle

[†] 창원대학교 건축학부

E-mail : thyoon@sarim.changwon.ac.kr

TEL : (055)279-7613 FAX : (055)285-1120

* 한국철도기술연구원 남북철도사업단

** 한국철도기술연구원 차량기계연구본부

고무재료는 일반적으로 상온에서 약한 외력에도 큰 변형이 가능하며 외력이 제거되면 원상태로 복귀되는 탄성이 큰 재료이다. 고무는 신축성과 유연성, 고탄성의 특성으로 인하여 기계류의 진동과 소음을 감소시키는 목적으로 철도 차량의 현가장치에 사용이 증대되고 있다.

그러나, 고무의 물성은 온도에 민감하여 사용온도가 내려갈 때, 분자간의 배열이 규칙적인 구조로 변화하는 결정화(crystallization)로 인하여 분자간의 이동성이 감소하는 결정용해온도(Crystalline melting point)와 온도가 내려가면서 분자간의 이동이 완전히 굳어져 딱딱해지고 작은 변형으로도 깨지기 쉬운 취성을 보이는 특이점을 갖게 된다.

이러한 고무의 특성은 철도 차량의 고무현가 부품의 사용온도가 대륙철도 운행시의 극한온도 조건으로 변화할 경우 고무현가부품의 성능 및 안전성에 심각한 문제가 발생할 수 있음을 시사하며, 따라서 극한 온도 조건에서 고무현가 부품의 특성에 대한 연구가 필요하다.

전 세계적으로 국가간 철도 수송망 연계가 확산되고 있으며, 현재 유럽과 일본 등은 대륙철도 통합에 대비한 극한환경 하에서 신뢰성 있고 안정화된 차량 운행 및 부품 성능 연구가 진행 중에 있으나 국내에서는 극한온도에서의 고무현가 부품 성능평가에 대한 연구는 미비한 실정이다. 향후 남북철도 및 대륙철도의 연계시 즉각적인 국가 철도망의 연계와 정비, 직결운행 및 대륙철도 연계운행체계의 구축을 위해서 극한 온도 조건하의 대륙철도차량의 주요 인터페이스인 고무현가 부품의 특성 연구가 필요하며, 이는 극한환경 하에서 대륙철도차량의 고속화, 안전성 향상, 유지보수최적화에 핵심 기술이다. 따라서, 본 연구에서는 대륙철도 연계운행체계의 구축을 전제로 철도차량의 고무현가 부품의 내한성 시험기준을 조사 연구한다.

2. 고무재료의 저온특성

철도 차량의 진동 저감을 위한 고무 부품은 대부분 천연고무(Natural Rubber : NR)로 구성되어 있으며 고무는 온도에 따라 glassy state, leathery state, rubbery state 의 3가지 상태(phase)로 나눌 수 있으며 보통 유리전이온도(glass transition temperature, Tg)를 전후하여 glassy state와

rubbery state로 변화한다. glassy state는 분자의 회전운동이 없는 상태로 일반적으로 말하는 플라스틱 상태와 유사하다. 고무가 방진, 방음 등의 충격 흡수기능을 찾는 것은 고무의 분자 사슬의 움직임이 활발하여 외부의 충격을 분자의 운동으로 흡수할 수 있는 rubbery state이어야만 가능하다. 그러므로 고무가 glassy state에 있으면 충격을 흡수하는 고무 고유의 특성을 발휘할 수 없고 일반 플라스틱과 같이 외부의 충격에 쉽게 부러지는 취성을 갖게 되며 탄성계수는 rubbery state일 때 보다 증가하나 신율은 대폭 하락하는 특성을 보인다. 전술한 바와 같이 고무 재료의 유리전이온도는 고무의 상태를 결정짓는 특성으로 고무가 충격흡수 능력을 발휘하기 위해서는 반드시 유리전이온도 이상에서 사용하여야 한다. 표 1은 각종 고무의 사용가능한 최저온도를 나타낸 것이다.⁽²⁾

Table 1 Lowest useful temperature of various rubber

고무 종류	최저 온도
Natural rubber	-60
Isoprene rubber	-60
Butadiene rubber	-100
Styrene butadiene rubber	-50
Isobutylene isoprene rubber	-50
Ethylene propylene rubber	-55
Poly-norbornene rubber	-45
Nitrile butadiene rubber	-40
Hydrated nitrile btradiene rubber	-25

고무 소재는 사용온도가 Tg(Glass Transition Temperature, 유리전이온도)보다 더 높아야만 탄성을 유지하여 고무로서의 역할을 할 수 있다. 일반적인 천연고무는 약 -50℃ 전후의 Tg를 갖고 있으며 이러한 온도에 근접하면 고무 탄성체로서의 기능이 저하된다. 현재 천연고무로서 상용화되어 있는 제품의 대부분이 -40℃ 정도의 온도에서 고무탄성이 저하되어 그 기능을 다하지 못하

고 있다. 천연고무제품을 -40℃에서 양쪽으로 약 200% 신장시켰을 때 원래 모양으로 돌아오는 회복율이 60% 이상 보이는 것이 드물고 대부분은 20%를 넘지 못한다. 일반 천연고무 제품은 -20℃ 이하로 내려가도 탄성을 잃고 회복이 되지 못한다.⁽³⁾

방진고무의 내한성을 향상시키기 위하여 NR 컴파운드에 유리전이온도가 상대적으로 낮은 BR을 섞거나 오일 함량을 늘리는 방법을 이용하여 새로운 컴파운드를 제작, 시험하고 저온환경에서 기계적 물성 실험을 수행하여 NR/BR 조성비 및 오일 함량에 따른 영향을 조사한 결과 BR함량이 증가할수록 경도 및 모듈러스가 증가한 반면 인장강도 및 신율은 감소하고, 오일 함량이 많을수록 경도, 모듈러스 및 인장강도는 감소하나 신율은 거의 변화가 없다. NR/BR의 유리전이온도인 -50℃와 -90℃에서 저장탄성계수의 급격한 전이와 손실계수가 최대값을 보여 두 컴파운드간의 비상용성을 나타낸다. TR 시험에서 BR 및 오일함량이 증가할수록 회복량이 급격히 증가하는 시점의 온도는 점점 낮게 나타난다.⁽⁴⁾

3. 철도차량 고무현가부품의 시험기준

3.1 고무부품의 시험 기준

3.1.1 고무부품의 저온 시험 기준

현행 한국산업규격(KS)에는 철도차량 부품 중 온도의 조절 자체를 목적으로 하는 장치(냉난방 기기류)를 제외한 전기 부품, 브레이크 부품, 유압 부품 등에 대한 저온시험방법이 [KS R 9213 철도차량부품-고온 및 저온 시험방법]에 규정되어 있으며 고무부품에 대해서도 이를 준용할 수 있을 것을 보인다.⁽⁵⁾

이 기준에 의하면 항온조를 사용하여 부품의 온도를 시험온도로 하강시켜 저온에서 부품을 방치하거나 동작시켜 부품의 기능과 성능을 조사하도록 되어있다(Table 1참조).

그러나, Table 2에서 보는 바와 같이 이 기준에 명시되어 있는 저온의 온도범위는 최고 +5℃에서 최저 -35℃로 한정되어 있어 대륙철도 운행시 예상되는 운행 최저온도인 -50℃의 범위를 포함하지 못하고 있다. 따라서, 대륙철도와 연계를 대비하여 최저온도의 범위를 낮출 필요가 있다.

Table 2 Test type

시험의 종류	기호	시험의 주목적
고온방치시험	TSH	고온 중에 방치한 후 부품의 기능, 성능을 조사하는 시험
저온방치시험	TSL	저온 중에 방치한 후 부품의 기능, 성능을 조사하는 시험
고온동작시험	TDH	고온 중에서 동작시켰을 때 부품의 기능, 성능을 조사하는 시험
저온동작시험	TDL	저온 중에서 동작시켰을 때 부품의 기능, 성능을 조사하는 시험

Table 3 Low temperature for test

종류	시험 온도
L1종	5±3
L2종	0±3
L3종	-5±3
L4종	-10±3
L5종	-15±3
L6종	-20±3
L7종	-25±3
L8종	-30±3
L9종	-35±3

3.1.2 공기스프링 시험 기준

철도차량 및 자동차용의 공기스프링에 사용하는 고무 벨로즈 부분의 시험기준은 [KS R 4001 공기 스프링용 고무 벨로즈 시험 방법]에 규정되어 있다. 이 방법에서 규정하고 있는 시험 항목은 다음과 같다.“

- (1) 치수 및 겉모양
- (2) 압력시험
- (3) 기밀 (누설) 시험
- (4) 신축 시험
- (5) 팽창 시험
- (6) 고무재료 시험
- (7) 박리시험
- (8) 파괴 시험

(9) 피로 시험

이 규정에서 시험온도는 표준온도 즉 상온으로 하고 있으며 온도의 편차가 ±15℃인 표준온도상태 15급을 기준으로 하고 있다. 따라서, 이 기준은 일반적인 우리나라의 온도조건에서는 적합하나 대륙철도의 운행조건에는 적합하지 않다.

3.2 고무재료의 시험기준

고무재료의 내한성 시험을 위하여 적용이 가능한 기준으로는 다음과 같은 것이 있다.

3.2.1 일반적인 시험 기준

- (1) KS M ISO 4648 가황 또는 열가소성 고무- 시험편 및 시험 제품의 치수 측정 방법
- (2) KS M ISO 471 고무- 전처리와 시험을 위한 온도, 습도 및 시간
- (3) KS M 6781 가황 고무의 물리 시험 방법 통칙

3.2.2 고무의 저온시험기준

- (1) KS M ISO 815 가황 또는 열가소성 고무- 상온, 고온 또는 저온에서의 영구 압축률 측정 방법
- (2) KS M ISO 2921 가황 고무- 저온 특성 측정 방법- 온도 수축 시험 방법(TR 시험)
- (3) KS M ISO 3383 고무- 고온 또는 표준 이하 온도에서 시험을 위한 일반 사항
- (4) KS M 6722 가교 고무의 저온 비틀림 모듈러스 시험 방법
- (5) KS M 6670 가황 고무의 저온 압축 영구 줄임 시험 방법
- (6) KS M 6676 가황 고무 및 플라스틱의 저온 충격에 의한 취약 온도 측정 방법

3.3 외국의 시험 기준

3.3.1 공기스프링의 시험 기준

외국의 시험기준을 조사한 결과 철도차량용 공기스프링의 성능 규정 및 측정을 위한 기준은 다음과 같이 조사되었으며 이들도 저온환경에서의 시험기준과 성능기준은 없는 것으로 조사되었다.

Table 4 Test standard for air spring

규격번호	국가	규격명
JIS D 4101 :1994 ⁽⁶⁾	일본	Testing method of rubber bellows for air springs
JIS E 4710:1995	일본	Railway rolling stock -- Rubber vibration isolators -- General requirement
JIS E 4035:1995	일본	Railway rolling stock -- High and low temperature test methods of parts
DIN EN 13913 ⁽⁷⁾	독일	Railway applications - Rubber suspension components - Elastomer-based mechanical parts; German version EN 13913:2003
DIN EN 13597	독일	Railway applications - Rubber suspension components - Rubber diaphragms for pneumatic suspension springs; German version EN 13597:2003
BS EN 13913 ⁽⁸⁾	영국	Railway applications - Rubber suspension components - Elastomer-based mechanical parts
BS EN 13597	영국	Railway applications - Rubber suspension components - Rubber diaphragms for pneumatic suspension springs

3.3.2 고무의 저온 시험 기준

고무 재료의 특성을 시험하기 위한 기준은 한국공업규격과 유사한 것이 많은데, 이는 국제적인 규격통일의 일환으로 ISO규격⁽⁹⁾이 제정되면서 한국공업규격이 국제규격을 따르기 때문으로 사료된다.

Table 5 Test standard for rubber

규격번호	국가	규격명
ASTM D 746 ⁽¹⁰⁾	미국	Standard Test Method for Brittleness Temperature of Plastics and Elastomers by Impact
ASTM D 3847	미국	Standard Practice for Rubber-Directions for Achieving Subnormal Test Temperatures
ASTM D 1329	미국	Standard Test Method for Evaluating Rubber Property - Retraction at Lower Temperatures (TR Test)
ASTM D 1229	미국	Standard Test Method for Rubber Property - Compression Set at Low Temperatures
JIS K 6261:1997	일본	Low temperature testing methods for rubber, vulcanized or thermoplastic
BS 903-A13	영국	Physical testing of rubber - Method for determination of stiffness at low temperature (Gehman test)
BS 903-A25	영국	Physical testing of rubber - Determination of low-temperature brittleness

4. 결 론

본 논문에서는 점차적으로 가시화 되고 있는 남북철도 및 대륙철도의 연계시 즉각적인 국가 철도망의 연계와 정비, 직결운행 및 대륙철도 연계운행체계의 구축을 위해서 극한 온도 조건하의 대륙철도차량의 고무현가 부품의 안전성 향상, 유지보수에 필수적인 철도차량의 고무현가 부품의 내한성 시험기준을 조사 연구하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 우리나라의 산업규격에는 철도차량 부품의 저온시험에 대한 규정이 있으나 이 기준에 명시되어 있는 저온의 온도범위는 최고 +5℃에서 최저 -35℃로 한정되어 있어 대륙철도 운행시 예상되는 운행 최저온도인 -50℃의 범위를 포함하지 못하고 있다. 따라서, 대륙철도와의 연계를 대비하여 최저온도의 범위를 낮출 필요가 있다.

(2) 철도차량 및 자동차용의 공기스프링에 사용

하는 고무 벨로즈 부분의 시험기준은 [KS R 4001 공기 스프링용 고무 벨로즈 시험 방법]에 규정되어있으나 시험온도는 표준온도 즉 상온으로 하고 있으며 온도의 편차가 ±15℃인 표준온도 상태 15급을 기준으로 하고 있다. 따라서, 이 기준은 일반적인 우리나라의 온도조건에서는 적합하나 대륙철도의 운행조건에는 적합하지 않아 개선이 필요하다.

향후 고무 현가부품을 장착한 철도차량을 대륙철도의 운행에 사용하기 위해서는 고무 현가부품의 성능기준 및 시험방법 등에 대한 기준에 대한 지속적인 연구를 통하여 이를 확립하는 것이 선행되어야 할 것이다.

후 기

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

참고문헌

- (1) Jong Seo Shin, 2000, Technical problem for connection of TKR and TSR, Journal of the Korean Society for Railway, Vol.3 No. 3, pp. 10-21
- (2) Jun Ho Yun, Tae Ho Kim, 2000, A study on the low temperature retraction of NR, Elastomer, Vol. 35, No. 4, p303-310
- (3) Blow, C. M., 1985, Rubber technology and manufacture, Butterworth Scientific
- (4) Kim, W. S.; Kim, W. D.; Woo, C. S.; Choi, S. S, 2004, Effect of NR/BR Blends ratio and Oil Content on the Mechanical Properties of Rubber Isolator at Low Temperature, ELASTOMER, Vol.39, No. 2, pp.95-100
- (5) KS : Korean Standards
- (6) JIS : Japanese Industrial Standards.
- (7) DIN : Deutsche Industrie Normen
- (8) BS : British Standard
- (9) ISO : International Organization for Standardization
- (10) ASTM : American Society for Testing and Materials