한국정밀공학회지 제 32 권 제 7 호 pp. 591-595 July 2015 / 591
J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 32, No. 7, pp. 591-595 http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2015.32.7.591
ISSN 1225-9071(Print), ISSN 2287-8769(Online)

◆ 특집 ◆ 철도차량 주행장치 성능향상을 위한 평가 기술

주행시험기를 이용한 차륜의 안전성 평가에 관한 연구

A Study on Safety Evaluation of Wheel Using Roller Rig Tester

함영삼 [1,✉]
Young Sam Ham[1,✉]

1 한국철도기술연구원 철도안전연구실 (Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute)
✉ Corresponding author: ysham@krri.re.kr, Tel: +82-31-460-5202

Manuscript received: 2015.6.9. / Revised: 2015.6.17. / Accepted: 2015.6.17.

The roller rig tester for safety performance evaluation of wheel derailment is a test facility which can give the test load condition to the test wheel, similar to the actual dynamic condition in actual running condition. This study describes the evaluation result on the durability of the resilient wheel equipped with the ring damper and the damping material, and installed in the half part of a full scaled bogie in combination with the primary spring when it rotates under the dynamic condition. The evaluation result on durability of resilient wheel after load test of 2 million cycles shows that the safety of wheel is not affected by the applied load in visual inspection and non-destructive test, however, in the bolt used for fastening the ring damper to the wheel the loosening was found. Accordingly the use of self-locking nut and washer is recommended.

KEYWORDS: Wheel derailment (차륜 탈선), Endurance test (내구 시험), Wheel load (윤중), Lateral force (횡압)

1. 서론

차륜탈선 안전성능평가 시험기는 차륜/레일의 답면 형상, 주행속도, 수직하중, 수평하중, 차륜/레일의 좌우 접촉위치, 공격각에 따라 탈선을 야기하는 크리프력이 어떻게 변화하는지를 측정하는 시험장비이다. 아울러 탈선현상, 특히 Climbing Derailment의 현상을 보다 정확히 규명할 수 있는 국내 유일의 장비이다. 철도차량의 탈선은 대형사고로 이어질 수 있는 가능성을 항상 내포하고 있다. 최근에 발생하고 있는 해외에서의 탈선사고는 모두 속도 및 곡선부와 관련된 차륜/레일 접촉 메커니즘에 대한 이해의 부족에 있다. 차륜/레일의 접촉 상황이 탈선에 어떻게 영향을 주는가를 시험설비를 이용한 시험을 통해 분석하고, 이로부터 차륜과 레일의 접촉위치, 마모 정도, 공격각, 답면형상, 수평하중 및 수직하중 등의 영향에 따른 탈선안전도를 평가하면 철도차량의 안전도를 향상시킬 수 있는 방안을 구체적으로 제시할 수 있게 된다. 외국의 경우 이미 오래 전부터 탈선에 관련된 시험설비를 확보하고 있으며, 일본의 경우 현재 4종의 탈선 관련 시험설비를 보유하고 있으면서도 때로는 탈선사고의 원인규명이 여의치 않을 때가 있기 때문에 새로운 시험설비를 계획하고 있다. 우리나라는 지금까지 탈선원인 규명

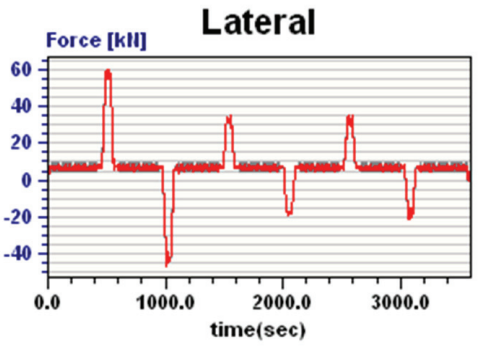
Copyright ⓒ The Korean Society for Precision Engineering
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

및 탈선안전도 평가를 위한 시험설비가 확보되어 있지 않기 때문에 탈선원인 규명 및 탈선안전도 평가가 불가능한 상태에 있었다. 그러나 최근에 시험설비를 구축하였으므로 향후에는 철도차량의 탈선사고를 최소화하기 위한 탈선 원인 규명 및 탈선안전도 평가가 가능할 것이다. 우리나라에서 지금까지 실시하고 있는 차륜에 대한 안전성 평가는 시편시험 또는 차륜에 대한 인장압축 반복시험에 머물고 있었으나, 본 연구에서는 Ring Damper 와 Damping Material 이 조합된 실물 방음차륜을 1차 스프링이 조립된 1/2 대차에 설치하여, 실제 선로에서와 유사한 동적 하중을 받으면서 회전할 때의 차륜 내구성을 평가하였다.

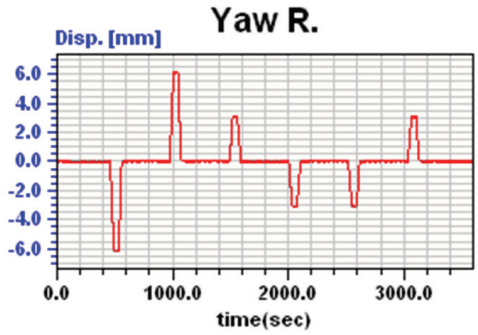
2. 시험방법

2.1 하중조건

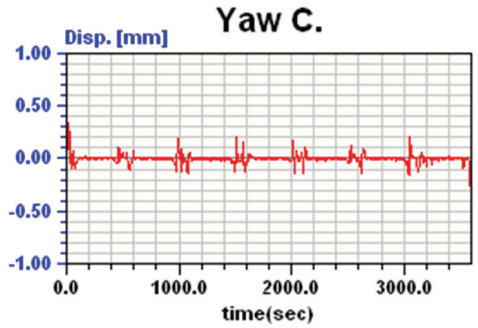
시험용 차륜에 적용할 하중조건은 실제 운행조건과 유사한 동적 하중조건을 적용하였다. 실제의 운행조건 적용을 위해 윤축세트를 전용장비에 올려 주행중과 동일한 회전상태를 적용하며, 이때 정하중의 최대값은 “지하철 7호선 차륜의 구름 및 미끄럼 접촉으로 인한 피로손상 예측 연구”에 따라 72 kN으로 선정하였다.[1] 이 하중에 EN 13979-1 의 7.2.1 Applied forces 중 Case 2의 curve(flange pressed against the rail)의 곱셈인자 1.25와 0.7을 적용하면 수직압 및 횡압은 각각 90 kN과 50.4 kN이 된다.[2] 그러나 통상적으로 차량설계시에 적용하는 동하중계수는 30 %로 계산하기 때문에 본 시험에서는 ±15 %의 하중을 정적인 최대윤중으로 설계하였다. 즉, 곡선부에서 외궤측 정적 윤중은 82.8 kN 이 되고, 내궤측 윤중은 61.2 kN 이 되는 것을 의미한다. 또한 사용되는 시험장비에서는 윤축을 설치할 때 1차 스프링이 포함된 1/2 대차를 이용하기 때문에, 엑츄에이터 가진 이외에도 추가의 주행 가진이 발생하여 동적인 순간최대윤중은 90 kN 을 초과하도록 설정하였다. 내구성 시험은 장비의 변위 허용한도 이내에서 실시하였으며, 요잉 은 최대 Yaw Angle 0.3°를 가정하여 변위 제어로 좌우 차륜이 대칭이 되도록 최대 6 mm 변위를 부가하였다. Fig. 1은 각종 설계조건으로서 Fig. 1(a)는 직선구간에서 +7 kN과 곡선구간에서 ±50 kN 의 횡압을 부가하였음을 보여주고 있고, Figs. 1 (b)-(d)는 변위제어로 Yaw Angle 을 모사하였음을 나타내고 있다.



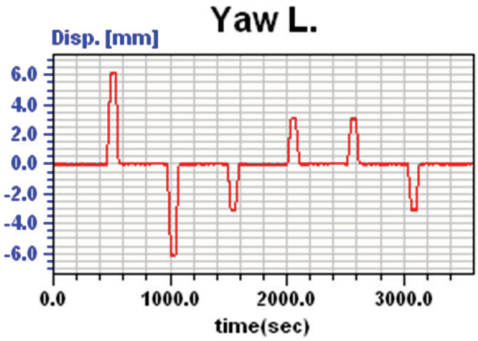
(a) Lateral force



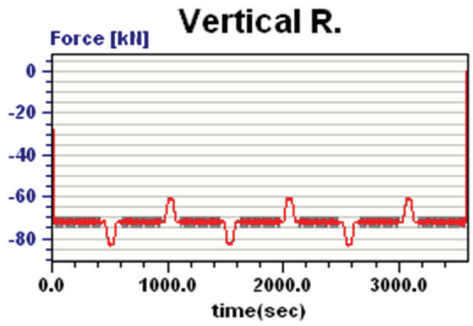
(b) Yawing displacement of right position



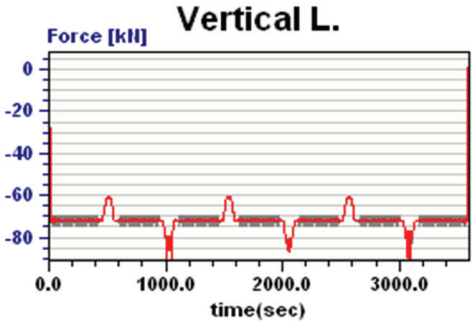
(c) Yawing displacement of center position



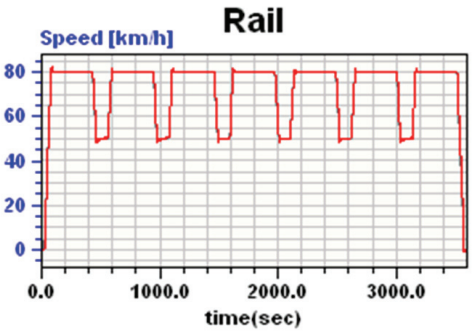
(d) Yawing displacement of left position



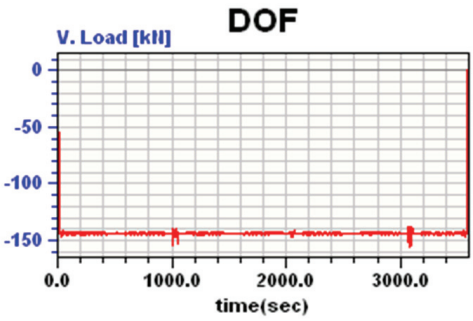
(e) Vertical force of right position



(f) Vertical force of left position



(g) Speed of vehicle



(h) Total vertical force

Fig. 1 Design of load profile

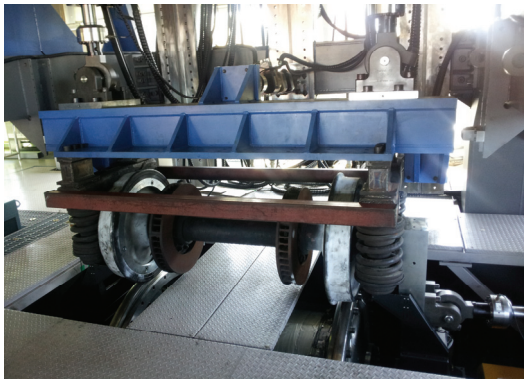


Fig. 2 Endurance test by roller rig tester

2.2 속도조건

시험용 윤축세트의 주행속도는 실제 도시철도 차량의 운행속도를 감안하여 설계하였다. 직선선로에서 최대 80 km/h로 주행하도록 하였으며, 곡선선로에서 50 km/h로 주행하도록 설계하였다. 이때 차륜의 윤중감소가 발생하도록 하였는데, 50 kN의 횡압이 발생할 때 외궤측에서는 정적인 윤중의 15 %에 해당하는 10.8 kN의 윤중이 증가하고 내궤측에서 그만큼 윤중이 감소하는 조건으로 윤중감소를 모사하였다.

2.3 하중 사이클

하중 사이클의 횟수는 EN 13979-1 중 D.3 Fatigue bench test에서 설명한 하중 사이클 수 200만회를 선정하였다.[2-4] 이러한 횟수의 하중은 동하중계수가 더해진 크기의 하중으로 부가되므로 실제보다 더 가혹한 조건이 된다.[5] 시험설비의 액추에이터는 최대변위 ±50 ㎜ 로서 5 ㎐에서 ±15 ㎜를 구현할 수 있기에 시험은 1 ㎐로 200만회의 하중을 적용하여,[6] Fig. 2와 같이 차륜의 피로내구성을 시험하였다.

3. 시험결과

3.1 육안검사

차륜의 내구성 시험은 EN 13979-1에서 사용하는 1 mm 이상의 크랙이 차륜, 댐퍼 및 볼트 등의 부품에서 발생하는지 여부를 기준으로 적용하였다. 이때 차륜과 댐퍼의 조합을 위한 볼트의 풀림, 변형 및 파단 등을 동시에 검사하였는데, 하중 프로파일에 따른 차륜의 내구성시험 진행 도중 차륜과 댐퍼의 결합을 위한 볼트와 너트의 풀림(총 6개에

Fig. 3 Tread of wheel damper (before test)

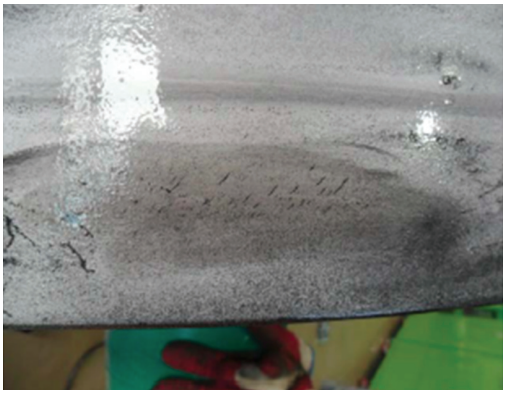


Fig. 4 Tread of normal wheel (befoer test)

Fig. 5 Tread of wheel damper (after test)

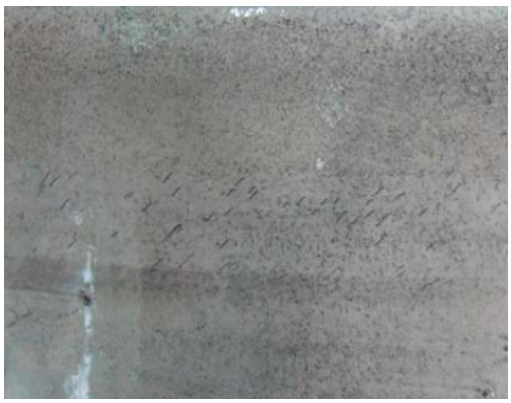


Fig. 6 Tread of normal wheel (after test)

서 2개)이 발생하였다. 이에 따라 와셔를 추가하고 풀림방지너트로 교체하여 시험을 완료한 후 육안검사 결과 1 mm 이상의 크랙은 발견되지 않았다.

3.2 비파괴검사

차륜의 내구성 시험 후 댐퍼의 조립을 위한 차륜의 가공부위와 하중적용 시 가장 큰 응력이 발생할 것으로 예상되는 지점 등에 대하여 비파괴검사를 실시하고 시험 전후를 방음차륜 적용차륜과 미적용한 차륜으로 구분하여 상호 비교하였다.

3.2.1 자분 탐상 시험

자분탐상검사 결과, Figs. 3-6과 같이 일반차륜에는 답면부에 운행으로 인한 미소 균열이 3개소 정도가 발생하였고, 방음차륜은 답면부 전반적으로 운행으로 인한 미소 균열이 발생하였다. 판부 및 구멍에서는 일반차륜과 방음차륜에서 균열이 발견되지 않았다.

3.2.2 초음파 탐상 시험

초음파 탐상방법에는 원리면으로 여러 가지 방법이 있으나, 불연속적인 내부결함을 검출하기 위한 초음파탐상법으로 펄스-에코법을 사용하였다. 초음파 탐상검사가 방사선 투과검사에 비해 우수한 점은 시험체의 두께가 두꺼워도 쉽게 검사가 가능하고, 균열과 같은 면상의 결함 검출능력이 탁월한 반면, 단점으로는 결함의 종류를 식별하기 어렵고 금속조직의 영향을 받기 쉽다는 점이다. 초음파 탐상 시험결과 내구성 시험 전후에 결함이 검출되지 않았다.

4. 결론

댐핑재료가 내장된 링댐퍼를 차륜 내측 플레이트에 설치하여 주행시험기로 차륜의 내구성을 시험한 결과는 다음과 같다.

(1) 육안 검사결과에서 크랙은 발견되지 않았다. 그러나 약 20만회의 하중 적용 후에 차륜과 링댐퍼의 체결을 위한 볼트의 풀림이 발견되었다. 따라서 풀림방지너트와 와셔의 사용이 권장된다.

(2) 비파괴 검사결과, 시험도중 교체한 풀림방지너트와 홀을 포함한 차륜의 플레이트 부위는 이상이 없었으며, 차륜 답면부에는 방음차륜 설치와 무관하게 가혹한 시험조건으로 인한 미세한 균열이 전체적으로 발견되었다.

(3) 방음차륜에 200만회의 하중을 적용한 후 내구성을 시험한 결과에 의하면 하중작용에 의한 차륜의 안전성은 이상이 없었으므로 링댐퍼 체결용 볼트의 풀림에 유의한다면 실제 차륜에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Lee, H.-S., Joo, S.-M., Kim, H.-K., and Kwon, S.-J., “Estimation of Fatigue Damage due to Running and Sliding Contact in a Train Wheel of the Subway Line 7,” Proc. of Korean Society for Railway Autumn Conference, pp. 2052-2061, 2009.
2. BS EN 13262:2004+A1:2008, “Railway Applications - Wheelsets and Bogies - Wheels - Product Requirements,” 2004.
3. BS EN 13979-1:2003+A2:2011, “Railway Applications - Wheelsets and Bogies - Monobloc Wheels - Technical Approval Procedure - Part 1: Forged and Rolled Wheels,” 2004.
4. BS EN 13715:2006+A1:2010, “Railway Applications - Wheelsets and Bogies - Wheels - Tread Profile,” 2006.
5. Seo, J. W., Kwon, S. J., Lee, D. H., Jun, H. K., and Park, C. K., “Evaluation of Mechanical Characteristic and Residual Stress for Railway Wheel,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 31, No. 9, pp. 783-790, 2014.
6. Lee, S.-H., Park, T.-W., Park, J.-K., Yoon, J.-W., Jun, K.-J., et al., “Fatigue Life Analysis of Wheels on Guideway Vehicle Using Multibody Dynamics,” Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 10, No. 5, pp. 79-84, 2009.