

차륜/궤도 작용력 측정을 위한 광주전동차 윤축의 구조해석 및 정하중 시험

Finite Element Analysis and Static Load Test of a Wheelset of Gwangju EMU for Measuring Wheel/Rail Force

전웅식*
Jeon, Eung-Sik

함영삼**
Ham, Young-Sam

정우진***
Chung, Woo-Jin

ABSTRACT

The railroad is a means of large transportation which has many talents such as a safety and a regularity. That is a results from various confidential performance tests and evaluations of the system. The railroad system consist of various subsystems - vehicle, power supply, signal, communications, track structures, operations, etc. Among them, as an item of safety evaluation there is a measurement of wheel/rail force, so called a measurement of derailment coefficient. This is a very important item because a derailment of a train will bring about a big accident. Especially it is more important in high speed rail of which operation speed is over two times as fast as existing rail. In this paper, it is introduced to preprocess the wheelset for measuring wheel/rail force of Gwangju EMU, such as to treat a measuring wheelset, its finite element analysis, adhesion of strain gauges and static load test.

1. 서론

철도는 대량 운송 수단으로써 안전성, 정시성이 뛰어난 교통수단이며 이러한 장점은 시스템의 시험평가로부터 얻어진 신뢰성의 결과이다. 철도시스템은 차량, 전력공급, 신호, 통신, 선로구축물, 운영 등 다양한 하부시스템으로 구성되며, 이를 구성하는 부품, 조립품, 하부시스템, 전체시스템에 대한 시험평가는 필수적이다. 이 중 철도차량의 주행안전성을 평가하는 주요 시험항목의 하나로 차륜/궤도 작용력(탈선계수)의 측정을 꼽을 수 있는데, 이는 탈선이 철도차량의 주행안전성을 저해하는 중요한 요인으로서 대형사고로 직결되기 때문이다. 특히 새로이 개발, 제작되어 영업운행에 투입되는 차량에 있어서 주행안전성의 측정과 평가는 안전을 위한 필수적인 과정이며 주행안전성의 확보 측면에서 탈선계수의 측정은 다른 어떤 항목보다 중요하다고 할 수 있다. 또한 주행시 열차하중(윤중, 횡압)의 증가로 궤도를 구성하는 레일과 침목 등의 궤도부재가 손상되거나 파괴되기도 하고 궤도틀림이 급격히 성장할 가능성이 높아지므로 주행안전성과 더불어 궤도의 유지보수 측면에서도 차륜과 궤도 사이의 작용력을 확인할 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 새로이

* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 주행시스템연구팀 연구원, 비회원

** 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 주행시스템연구팀장 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 주행시스템연구팀 선임연구원, 정회원

표 1 윤축 재료의 물성치

재료	탄성계수 (kgf/mm ²)	Poisson's ratio	항복강도 (kgf/mm ²)	비고
SF60A	2.1×10^4	0.3	29.5	차축
SSW2	2.1×10^4	0.3	42.0	차륜

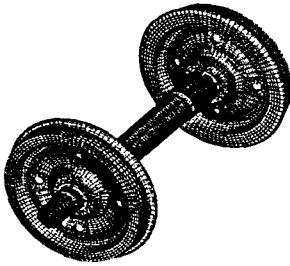


그림 5 윤중 측정용 구멍을 추가한 윤축의 유한요소모델

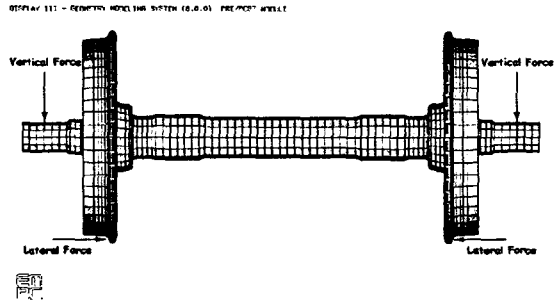


그림 6 하중조건별 적용위치

3.2 하중 및 경계조건

① 수직하중

레일과 접촉하는 차륜의 담면에 수직방향의 변위를 구속하였고 수직하중은 좌우 축상의 중심에 각각 10 ton씩 부가하였다.

② 수평하중

좌우 축상의 베어링 장착부위에 수직방향의 변위를 구속하였고 수평하중은 좌우 차륜의 플랜지와 레일이 접촉하는 부위에 차륜 바깥쪽에서 안쪽방향으로 각각 5 ton씩 부가하였다. 하중조건별 하중의 위치를 그림 6에 나타내었다.

3.3 해석 결과

차륜의 기하학적인 형태상 수직과 수평하중의 상호간섭이 전혀 없을 수 없으므로 해석결과, 간섭이 최소인 부위를 선정하였고, 그 위치와 응력분포를 그림 7~12에 나타내었다.

그림 7은 수직하중 작용시 구멍 안쪽(윤중 측정위치)의 σ_{zz} 분포와 게이지 쉘부 위치를 나타내고 있다. 차륜의 두께에 따라 대략 -3.77kg/mm^2 에서 -1.52kg/mm^2 까지 응력이 변화하고 있으며, 바깥쪽 끝에서 안쪽으로 약 1/3 지점이 최대응력을 나타내고 있다. 그림 8은 수평하중 작용시 구멍 주위의 σ_{zz} 분포와 게이지 쉘부 위치를 나타내고 있다. 차륜의 두께에 따라 대략 -6.84kg/mm^2 에서 2.86kg/mm^2 까지 응력이 변화하고 있으며, 바깥쪽 끝에서 안쪽으로 약 1/3 지점이 최소응력(간섭량)을 나타내고 있다. 따라서 수직하중 게이지의 쉘부위치는 수직하중 작용시 최대응력이 발생하면서, 수평하중 작용시에는 최소응력이 발생하는 곳으로서 대략 구멍의 바깥쪽 끝에서 안쪽으로 약 1/3 지점이 이에 해당되는 것을 알 수 있다. 그림 9, 10은 각각 수평 및 수직하중이 작용하였을 때, 차륜 외측의 σ_{yy} 분포와 간섭량이 상대적으로 작은 게이지 쉘부위치를 나타내고 있다. 그림 11, 12는 각각 수평 및 수직하중 작용시 차륜 내측의 σ_{yy} 분포와 간섭량이 상대적으로 작은 게이지 쉘부위치를 나타내고 있으며, 차륜내측이 차륜외측의 경우보다 차륜의 중심쪽으로 좀 더

가까운 곳에서 작은 간섭량이 발생하였다. 수평하중 게이지의 궤부위치는 수직하중 작용시 최소의 σ_{yy} 가 발생하고 수평하중 작용시 최대의 σ_{yy} 가 발생하는 위치로서 차륜의 기하학적인 형상으로 인해 간섭이 전혀 없을 수가 없으므로 최소의 간섭위치를 선택하여야 한다. 이러한 조건에 최대한 부합하는 위치는 그림에 원으로 표시한 곳으로 수직하중과 수평하중에 따른 응력의 간섭이 상대적으로 작은 위치이다.



그림 7 수직하중 작용시
윤중 측정위치의 σ_{zz} 분포

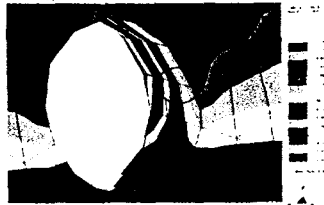


그림 8 수평하중 작용시
윤중 측정위치의 σ_{zz} 분포



그림 9 수평하중 작용시
차륜외측 횡압 측정위치의
 σ_{yy} 분포

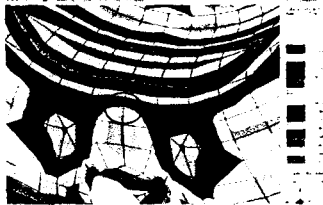


그림 10 수직하중 작용시
차륜내측 횡압 측정위치의
 σ_{yy} 분포

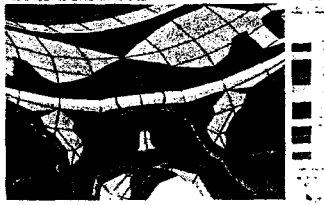


그림 11 수평하중 작용시
차륜내측 횡압 측정위치의
 σ_{yy} 분포

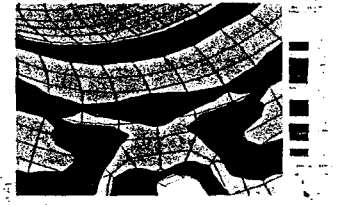


그림 12 수직하중 작용시
차륜내측 횡압 측정위치의
 σ_{yy} 분포

4. 정하중 시험

4.1 최종 게이지 부착위치 선정

실제로 측정용 윤측에서 윤중과 횡압의 상호간섭이 최소인 위치를 선정하기 위해 해석 결과를 토대로 선정한 위치에 응력집중 측정용 스트레인 게이지를 부착하고 정하중 시험을 실시하였으며 각각 수직하중 20ton과 수평하중 5ton을 가하여 상호간섭을 측정하였다.

수직방향 응력집중 측정용 게이지(P)의 경우, 수직하중 작용시에 외측에서 멀어질수록 변형률이 증가하는 경향을 보였고 수평하중 작용시에는 외측에서 약 1/3지점인 P4와 P5번 게이지 사이에서 압축과 인장이 교차하였다. 따라서 간섭량이 0인 지점은 좌우 차륜 모두 외측에서 내측으로 10.2 ± 0.2mm 떨어진 지점으로 확인되었다. 수평방향 응력집중 측정용 게이지(Q)의 경우 간섭량 증가에 비해 감도 증가율이 큰 지점을 선택하여 외측은 윤중 측정용 구멍의 하부플단에서 50 ± 0.2mm, 내측은 62 ± 0.2mm 떨어진 지점으로 선정하였다. 그림 13, 14에는 차륜에 부착된 응력집중 측정용 스트레인 게이지를, 그림 15~17에는 정하중 시험 결과를 나타내었다.



그림 13 윤중 측정위치와 차륜의측
횡압 측정위치 검출을 위한
응력집중 측정용 게이지



그림 14 차륜내측 횡압 측정위치
검출을 위한
응력집중 측정용 게이지

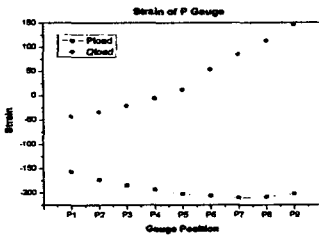


그림 15 P 게이지 부착위치에
따른 변형량과 간섭량

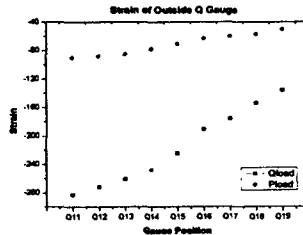


그림 16 차륜의측 Q 게이지
부착위치에 따른
변형량과 간섭량

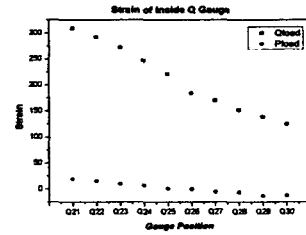


그림 17 차륜내측 Q 게이지
부착위치에 따른
변형량과 간섭량

4.2 단축 게이지 부착 및 브릿지 회로 구성

일반적으로 사용되고 있는 윤중과 횡압의 측정방법에는 간헐법과 연속법의 2종류 측정방법이 있다. 간헐법은 차륜 1회전에 하나의 사인파형을 얻는 방법이고, 연속법은 연속적으로 출력이 얻어지는 방법이다. 본 연구에서는 간헐법을 이용하여 윤중과 횡압을 측정한다.

앞서 구조해석과 응력집중 측정용 게이지를 이용해서 선정된 위치에 실차시험에 사용될 항자성용 단축 게이지를 취부하고 윤중과 횡압 측정을 위한 브릿지 회로를 구성하였다. 윤중을 측정하기 위해 각각 대각선으로 마주보는 2개의 구멍에 부착된 4개의 게이지를 결선하고 P1, P2의 브릿지 회로를 구성하였으며, 횡압을 측정하기 위해 각각 대각선으로 마주보는 4개의 내·외측 게이지를 결선하고 Q1, Q2의 브릿지 회로를 구성하였다.

4.3 교정값 산출

최종적으로 부착된 게이지의 이상유무를 확인하고 실차시험 결과에 적용할 교정값을 구하기 위해 4개의 구멍위치에서 각각 수직·수평 정하중 시험을 실시하여 하중과 변형률의 관계를 구하고 선형성을 검토하였다. 차륜면에 90°의 간격으로 있는 4개의 구멍위치에서 각각 수직·수평하중을 부가하였을 때 하중에 대한 변형률의 변화가 선형적으로 나타나야 하며 그렇지 않다면 게이지의 부착상태나 절연상태가 불량하다고 볼 수 있다. 교정 결과, 모든 위치에서 하중과 변형률의 관계가 선형적으로 나타나 이상이 없음을 확인할 수 있었고 정상적으로 교정값을 산출하였다.



그림 18 브릿지 회로 구성

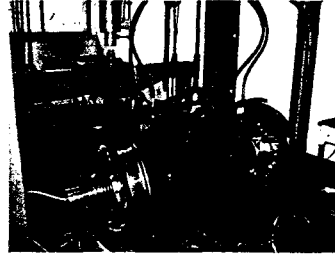


그림 19 교정시험

5. 결론 및 향후 계획

광주전동차의 주행안전성을 측정·평가하기 위한 측정용 윤축의 제작과정으로서 구조해석과 정하중 시험을 통해 윤중과 횡압 측정을 위한 최적 위치를 선정된 후, 스트레인 게이지를 부착하고 교정시험을 실시하여 실차시험 결과에 적용할 보정값을 산출하였다. 향후 측정용 윤축이 장착된 시험차량에 Telemeter를 이용한 계측시스템을 구성하고 주행시험을 실시하여 차륜/궤도 작용력을 측정하게 될 것이다. 이는 새로이 영업운행에 투입되는 광주전동차의 주행안전성을 판단하는 중요한 자료로서 활용될 것이다.

참고문헌

1. 함영삼 외(2002), "한국형 Swing Motion Bogie 개발을 위한 적용방안 연구", 한국철도기술연구원 보고서
2. 함영삼 외(1998), "기존 철도차량의 운용하중이력 분석", 한국철도기술연구원 보고서
3. 김청균 외(1997), "고속전철용 레일-휠 접촉에서 응력분포에 관한 유한요소해석", 한국윤활학회지, Vol. 13, No. 3, pp.93-101
4. 염영하(1981), "철도차량부하응력해석의 원리와 응용", ROTECO
5. T. Telliskivi 외(2001), "Contact mechanics analysis of measured wheel-rail profiles using the finite element method", Proc Instn. Mech. Engrs., Vol. 215, Part F, pp.65-72
6. T. Fujioka 외(1999), "A study on measuring rail/wheel contact points of running railway vehicles", ASME/IEEE Joint Railroad Conference, pp.151-156
7. J. Feldmann 외(1997), "Experimental investigations on the behavior of a point fixed in a wheel or rail structure compared with a point fixed relative to the contact zone", Applied Acoustics, Vol. 51, No. 4, pp.353-368
8. Hiroaki ISHIDA 외(1993), "Continuous Method of measuring Forces between Wheel & Rail and Derailment Quotients", Proceedings of the International Conference on Speedup Tech. for Railway and Maglev vehicles, pp.350~354