

차륜탈선 시험설비를 활용한 RCF 실험용 하중 프로파일 설계 Design of Force-Profile for RCF-Test Using Wheel Derailment Facilities

*이강호¹, #함영삼², 김재철³, 박일²

*K. H. Lee¹, #Y. S. Ham(ysham@krii.re.kr)², J. C. Kim³, I. Park²

¹과학기술연합대학원 대학교, ²한국철도기술연구원 시스템안전연구실, ³한국철도기술연구원

Key words : RCF, Wheel derailment facilities, Wheel damper

1. 서론

철도차량의 차륜은 전체 차량의 중량을 지지하는 중요한 역할을 하면서 레일 위를 주행하는 부품으로서 운행 중에 레일과의 상호작용으로 피로가 가해져서 손상이 발생한다. 차륜은 레일과 아주 작은 면적으로 접촉하여 상당히 큰 압력을 받기 때문에 반복적인 고하중을 받으며 피로에 의해 파손될 위험성이 있어 높은 안전성이 필요하다. 기존의 차륜과 레일의 접촉 피로에 대한 연구는 주로 유효요소해석을 적용하여 차륜-레일의 접촉에 의한 피로수명을 평가하거나 운행을 마친 열차의 차륜에서 시편을 채취해서 분석하는 연구가 대부분이며 새롭게 설계된 차륜의 피로강도를 평가하는 연구는 제한적이다. 제작된 차륜의 내구성 및 적합성을 평가하기 위해서는 실제 차량에 부착하여 실험을 하는 것이 가장 좋지만 안전성의 문제 등 여러 가지 측면에서 현실적으로 제약이 많기 때문에 내구성을 평가할 때 현차 시험 외에도 다른 방법이 필요하다.

이를 위하여 본 연구에서는 차륜의 내구성을 실험적으로 알아보려고 차륜탈선 시험설비를 이용하여 철도차량이 운행 할 때 차륜과 레일에 발생하는 수직압, 횡압, 공격각 등을 제어해서 실제 운행조건 및 더 가혹한 조건을 묘사하여 차륜에 가해지는 피로하중과 다른 조건에 의해 얻어지는 물성치 및 데이터를 분석하고 차륜설계 시 모델링한 수치와 비교해서 얻은 결과로 향후 새롭게 제작되는 차륜의 내구성 및 적합성을 평가하는 실험에 활용하고자 한다.

2. 차륜탈선 시험 설비의 사양

Fig.1의 차륜탈선 시험 설비는 Fig.2와 같이 6개의 actuator와 1개의 drive unit을 제어하여 철도차량의

주행 중 차륜/레일의 수직하중, 수평하중, 담면형상, 주행속도, 차륜/레일의 좌우 접촉위치, 공격각 등에 대해 각 조건들이 레일과 접촉하는 차륜에 작용하는 영향을 규명할 수 있는 장비이다.[1]

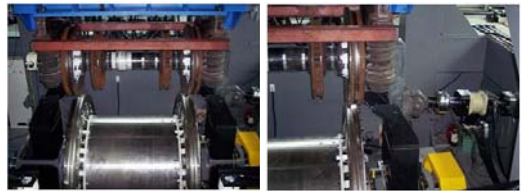


Fig.1 Wheel derailment test facilities

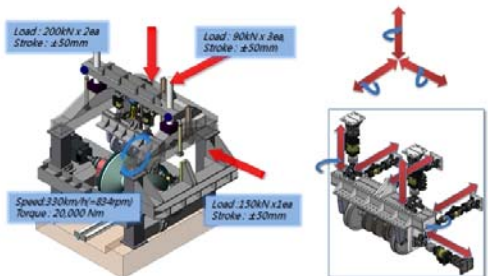


Fig.2 Control of actuator and motor

고속철도차량, 화차 등의 윤축 및 정상차륜, 마모 차륜을 시험 대상으로 하고 차륜/레일의 적합성, 작용력, 탈선계수, 차륜의 최적 담면형상 개발 시험 등을 시행하며 본 실험과 같이 개별적으로 설계된 차륜의 해석 모델 입증시험도 수행한다.

3. 방음차륜 내구성 시험

차륜-레일의 상호작용에 의한 차륜의 방사소음을 저감시키기 위해 Wheel damper를 장착한 방음차륜에 열차의 운행조건 또는 가혹한 하중조건과 공격각, 속도 등을 적용한다. 차륜에 운행조건을 적용할 때의 하중은 승객 혼잡도별 (상) 조건[2]에 의해 7.2ton을 선정해서 실험했다. 국내에는 차륜의

내구성과 관련된 규격이 없어 유럽의 규격 EN-13979-1[3]을 토대로 국내 실정에 맞게 작성하였다. 시험설비를 운행조건과 유사하게 구동시켜서 발생하는 수직력, 횡압 등의 하중 및 공격각을 시험차륜에 부과하여 발생하는 응력에 의해 차륜의 홈 가공, 볼트의 조립에 대한 안전성을 검증하고자 한다.

4. 하중 프로파일 설계 및 시험

실제 운행 구간 또는 그 이상의 조건에서 내구성 시험을 하기 위해 Fig.3과 같은 프로파일을 설계해서 시험하였다.

Pattern	Time	Elapsed_Time	DOF	Parameter
1	30	30	Vertical_Load	L : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (0±0.3 ton)
			Yaw_Angle	0.1Hz(0±0.05°)
			Rail_Speed	0→80km/h
			DOF	Parameter
2	300	330	Vertical_Load	L : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (0±0.3 ton)
			Yaw_Angle	0.1 Hz (0±0.05°)
			Rail_Speed	80 km/h
			DOF	Parameter
3	60	390	Vertical_Load	L : 6.9 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 7.5 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (+5±0.3 ton)
			Yaw_Angle	(+)0.3°
			Rail_Speed	50 km/h
			DOF	Parameter
4	60	450	Vertical_Load	L : 7.5 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 6.9 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (-5±0.3 ton)
			Yaw_Angle	(-)0.3°
			Rail_Speed	50 km/h
			DOF	Parameter
5	60	510	Vertical_Load	L : 7.5 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 6.9 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (-5±0.3 ton)
			Yaw_Angle	(-)0.3°
			Rail_Speed	50 km/h
			DOF	Parameter
6	60	570	Vertical_Load	L : 6.9 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 7.5 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (+5±0.3 ton)
			Yaw_Angle	(+)0.3°
			Rail_Speed	50 km/h
			DOF	Parameter
7	300	870	Vertical_Load	L : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (0±0.3 ton)
			Yaw_Angle	0.1 Hz (0±0.05°)
			Rail_Speed	80 km/h
			DOF	Parameter
8	30	900	Vertical_Load	L : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton) R : 7.2 ton, 5Hz (±0.3 ton)
			Lateral_Load	5 Hz (0±0.3 ton)
			Yaw_Angle	0.1Hz(0±0.05°)
			Rail_Speed	80→0km/h
			DOF	Parameter

Fig.3 Profile for RCF-test

직선부는 각 차륜에 7.2ton의 정하중을 가하고 추가로 0.3ton의 가진을 5Hz로 주면서 80km/h로 가속을 하는데 직선구간이라도 어느 정도의 좌우 흔들림은 있기 때문에 횡압으로 0.3ton의 가진을, Yaw-angle은 0.1Hz로 0.05°의 변화를 주면서 300초 동안 이 조건을 유지한다. 곡선부에서는 원심력에 의해 바깥쪽 차륜에 하중이 더 가해지는데 이는 정하중외에 3ton의 수직하중을 각 차륜에 가감하고, 원심력에 해당하는 횡압은 5ton으로 증가하고 Yaw-angle은 0.3°의 공격각을 유지하면서 속도는 50km/h로 감소한다. 같은 패턴의 반대방향 회전으로 -5ton의 횡압과 -0.3°의 공격각을 시행한다. 다시 직선구간으로 돌아와 정하중 가진을 실행하고,

마지막으로 정하중 상태로 돌아와서 하중, 공격각 등이 정지 조건이 되면 1-cycle이 완료된다. 각 채널 별로 설계한 profile은 Fig.4와 같다. 차륜의 피로에 의한 내구성을 검토하기 위해 필요한 하중 적용횟수는 EN 13979-1의 Fatigue bench test에서 제시한 200만 cycle이고 이를 수행하기 위해 5Hz의 조건으로 8h/day씩 가동을 한다면 총 시험기간은 약14일 정도 소요된다. 실험이 진행되는 동안 각 제어 요소들이 적용되기 전 단계에 약간의 시간 간격을 두어 장시간의 연속적인 시험에 의한 장비의 파손을 방지하였다.

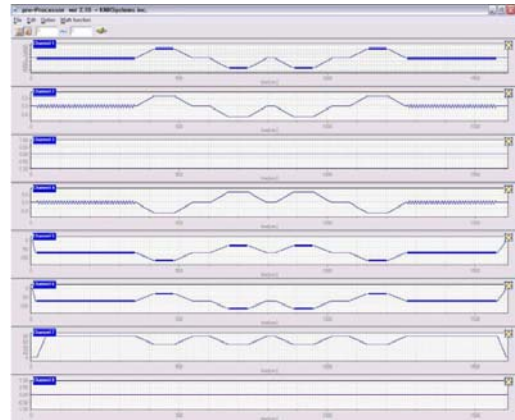


Fig.4 Profile of pre-processor

5. 결론

본 연구는 철도차량에서 발생하는 소음을 줄이기 위해 개발된 방음차륜의 내구성을 평가하고자 차륜탈선 장비로 반복적인 피로하중과 운행조건으로 실험을 수행하였고 피로하중이 가해진 차륜에 대한 데이터를 분석해서 방음차륜 제작 시 모델링한 데이터와 비교해서 내구성의 안전성을 검증한다면 이 실험방법을 향후 제작되는 차륜의 내구성 실험에 적용해도 타당할 것이라고 판단된다.

참고문헌

1. 함영삼, 유원희, "차륜탈선 시험설비의 활용 방안", 한국철도학회, 1128-1133, 2011.
2. 이희섭 외 3인, "지하철 7호선 차륜의 구름 및 미끄럼 접촉으로 인한 피로손상 예측 연구, 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2052-2061, 2009.
3. EN-13979-1 "Railway application-Wheelsets and bogies-Monobloc wheels-Technical approval procedures"