

고속철도용 판토티그래프 성능 계측 연구

Study on the Test of Dynamic Performance of Pantograph for High Speed Train

*박찬경¹, 김영국¹, 김기환¹, 백진성¹

*C. K. Park(ckpark@krii.re.kr)¹, Y. G. Kim¹, K. H. Kim¹, J. S. Paek¹

¹ 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

Key words : Pantograph, Aerodynamics, Pan head, Contact force, Catenary system, High speed train

1. 서론

일반적으로 300km/h 속도 대역으로 주행하는 고속철도 차량은 전기에너지를 주 동력원으로 사용하며, 고속 주행 중에 필요한 동력원을 공급받기 위해서는 고압의 가선시스템으로부터 접촉을 통하여 전기에너지를 수전한다. 전 세계적으로 고속철도차량에 사용되는 가선시스템은 차량의 지붕 위에 설치되어 있으며, 이에 접촉을 위한 차량 시스템은 지붕위에 판토티그래프 시스템을 장착하여 전기에너지를 이용하고 있다.

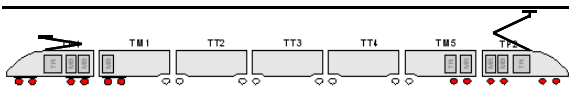


Fig. 1 Arrangement of pantograph in High Speed train-set



Fig. 2 Schematic view of catenary system in high-speed line

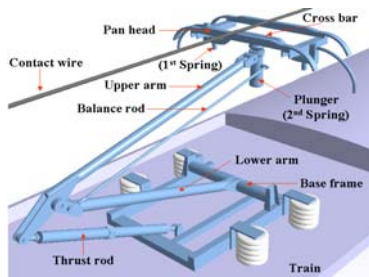


Fig. 3 Schematic view of the typical pantograph system

이러한 판토티그래프 시스템은 전기적으로 안전하고 신뢰성 있게 수전해야 하기 때문에 유럽에서는 국가 간 주행이 가능토록 국제 규격으로 Table 1.과 같이 그 성능을 규제하고 있다.

Table 1 European standard about pantograph and catenary system

Standard	Application System for Requirements
EN 50206-1	Pantographs system
EN 50317	Measurements system for interaction
EN 50318	Theoretical analysis for interaction
EN 50119	Catenary System
EN 50367	Dynamic interaction

판토티그래프와 가선시스템의 상호 작용에 대한 성능은 Table 1에서 보여 지듯이 이론적 검토 뿐만 아니라 시험을 통하여 검증토록 제시되고 있으며 일반적으로 Fig. 4와 같은 절차로 진행된다.



Fig. 4 Typical Flow Chart of Test Procedure

본 연구는 이러한 시험연구를 위하여 계측시스템을 구축하였으며 구성 및 시운전 시험 수행 내용에 대해서 설명하고 그 결과를 제시하고 있다.

2. 계측기 구성

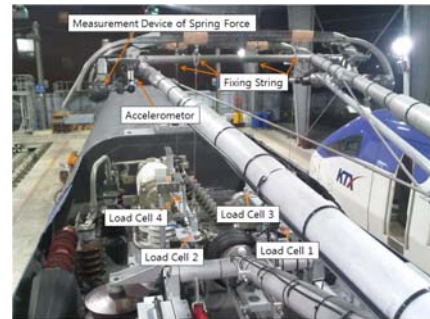


Fig. 5 Measuring system on the pantograph

계측기는 판토티그래프와 가선간의 접촉력을 측정해야 하며 접촉력에 영향을 주는 작용력은 판토티그래프를 위로 일정하게 밀어주는 정적 압상력과 주행 중에 발생하는 공력에 의한 양력이 있다. 이러한 힘을 계측하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 팬헤드 지지 스프링 힘을 측정하기 위한 스프링 각 변위와 팬헤드의 관성력을 측정하기 위한 가속도를 계측하도록 시스템을 구성하였다. 그러나, 팬헤드에 작용하는 공력은 이러한 시스템에서는 측정할 수 없으며 따라서 Fig.4의 Flow Chart에서도 명시하였듯이 팬헤드의 공력성분을 속도에 대한 특성으로 규명하는 시험을 통해 보상해야 한다. 이를 위해서 Fig.5에 보이는 Load Cell를 장착하여 공력 주행시험을 수행하였다.



Fig. 6 Layout for measuring systems of pantograph test on line

Fig.6 은 판토품상에서의 계측시스템과 차량 내부에서의 계측 시스템 모두에 대한 구성도이다. 여기서 판토품상에서의 계측 시스템은 25kV의 고전압 상에 운영되기 때문에 차량 지붕위의 절연애자 상부에 설치하고 이를 무선전송 시스템을 활용하여 차량 시험주행 정보와 동기화되어 있는 내부 종합 계측시스템으로 데이터를 전송하도록 구성하였다. 규격에 명시되어 있듯이 관심 주파수 영역은 20Hz 미만이며, 계측 주파수는 1kHz로 설정되어 있으며 Capacitive type의 20g 가속도계를 사용하였다. 스프링 변위를 계측하기 위한 각도 변위 계측 센서는 일본의 초정밀 각도 센서인 Wirewound single turn type의 각도 센서를 사용하였으며 스프링 힘과 각도 센서의 신호사이의 관련 특성 시험을 통하여 스프링 힘을 계측하도록 하였다. 여기서 스프링 특성은 Loading과 Unloading시에 Fig.7 과 같이 히스테리시스가 존재함을 파악하였으며 그 특성이 평가에 영향을 미치는 수준이기 때문에 이를 고려하여 최대, 최소값을 시험 결과에 반영되어 함을 알 수 있었다.

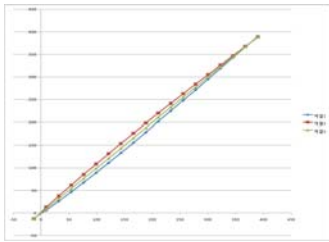


Fig. 7 Hysteresis characteristics of the springs

3. Dynamic Calibration 결과

Dynamic Calibration은 EN 50317에 의거하여 계측시스템의 정밀도를 판단하게 규정되어 있으며 0 ~ 10Hz에서 기준 하중 대비 80% 이상, 0 ~ 20Hz에서 기준 하중 대비 90% 이상 정밀도를 보장하도록 되어 있다. 따라서 Fig. 8과 같이 MTS 장비를 이용하여 시험을 수행하였으며 Table 2와 같이 모두 만족됨을 얻었다.

Table 2. The results from dynamic calibration

시험 주파수	선형 보간	Table 보간		
		Min	Mean	Max
0 ~ 10Hz	88.87%	92.42%	90.92%	89.96%
0 ~ 20Hz	91.71%	94.43%	93.40%	92.92%

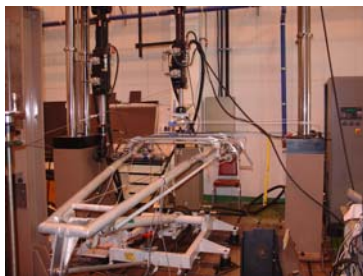


Fig. 8 Dynamic calibration with MTS in Lab.

4. 공력 특성 시험

공력특성 시험은 계측 시스템으로 계측할 수 없는 팬헤드에 작용하는 양력 특성을 파악하기 위하여 수행되었으며 Fig. 5에서의 Load Cell 합과 스프링 힘 계측시스템에서 계측된 값을 이용하여 산출할 수 있으며 그 결과 Fig. 9 및 Table 3.과 같은 결과를 얻었다.

Table 3. The results from aerodynamic test at pan head

구분	Min. Factor 적용 시	Max. Factor 적용 시
정상방향	0.0005037	0.0007015
역방향	0.0003379	0.0004986

*. 여기서, 값은 속도에 대한 공력 일반식 $F_a = bv^2$ 에서 b값임.

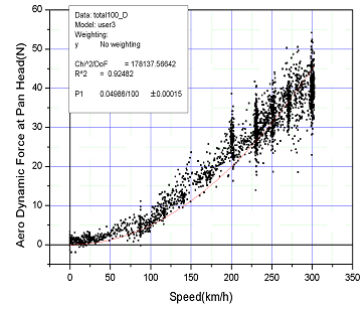


Fig. 9 Test result about aerodynamic force on pan head vs. speed

5. 시운전 시험 적용 결과

시운전 시험은 국내 고속선에서 운행하면서 측정하였으며 그 결과는 Fig.10 및 Table 4. 와 같다.

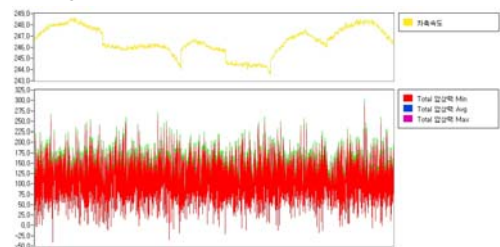


Fig. 10 Graph of contact force from on-line test

Table 4. The results of contact force through statistical process

계측 항목	기준	히스테리 특성 적용(N)			비 고
		Min Factor	Average Factor	Max Factor	
평균 압상력 (F_{mean})	최대	133.9	143.4	153.1	공력시험 결과 범위 값 적용*
	최소	123.8	133.3	143.0	
압상력 표준편차(3σ)	-	122.4	124.0	125.6	
$F_{mean} - 3\sigma$	Positive	1.4	9.3	17.4	F_{mean} 최소 값 적용

Fig.10은 일정 속도대역의 데이터를 통계처리하기 위하여 데이터 set으로 재 분류한 결과이며, Table 4.는 국제 규격에서 제시하는 주요한 판정기준을 통계적 기법을 이용하여 계산된 값으로 정리한 표이다. 이처럼 상기 계측 시스템을 이용하여 판정에 이용할 수 있었고 스프링의 특성을 활용하였기 때문에 히스테리시스가 고려되어 결과로 제시되었다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 고속용 판토품의 성능 계측을 위하여 스프링 특성을 이용한 계측 시스템으로 계측기를 구성하였다. 이는 시스템의 형상 변경 없이 이용 가능하였지만 스프링의 히스테리시스가 존재하여 평가적용을 위해서는 일정 범위에 의한 판단으로 제시 될 수 있었다. 향후 히스테리시스 영향을 무시할 수 있는 시스템 적용으로 개선할 필요성이 있으며 새로운 계측 센서개발이 요구된다.

후기

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원 (과제번호 07 차세대고속철도A01)에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

1. EN50119, 50367, 50318, 50317, 50206-1.
2. 조용현, “드로퍼 비선형과 전차선 초기 처짐을 고려한 철도 팬터그래프-전차선로 동역학 수치 시뮬레이션”, 박사학위논문, 서울대학교, 2008.