

한국형 틸팅열차 관토티라프의 추종성능 특성 시험

The test for following characteristics of pantograph on TTX

고태환* 김기남** 한성호*** 최영민****
Tachwan Ko, Gi Nam Kim, Seong Ho Han, Young Min Choi

ABSTRACT

The pantograph which has to have a good contact behavior with contact wire in order to supply the electric equipment in a train with power in safe should be designed to keep the uniform contact force for various types and characteristics of catenary system. The performance test of dynamic behavior for developing pantograph is the most important test to evaluate and verify the performance for it. The main factors to change the contact force between a pantograph and a contact wire are the increase of the vibration of a pantograph and a catenary system and the aerodynamic lift force on a pantograph according to increasing the speed of a train. In this study, we introduce the test methodology about the following characteristic test and offer the experimental results for them. The performance for following characteristic of pantograph is evaluated through the analysis of this experimental results.

1. 서론

이선율을 최소화하며 가선에 마모와 습전판의 마모를 고려하면서 최적의 집접성능을 발휘해야 하는 관토티라프는 다양한 가선의 형태 및 특성에 적합하게 작용할 수 있도록 설계되어야 한다. 개발된 관토티라프의 성능을 확인하는 시험 중에서 관토티라프와 가선과의 인터페이스를 고려한 관토티라프 동적 거동성능시험은 철도차량에 원활한 전력공급을 위해 관토티라프가 갖추어야 할 가장 중요한 기능을 확인하는 시험이라고 할 수 있다. 주행 중 관토티라프와 전차선과의 접촉 유지를 고려한 접촉력의 변화에 영향을 미치는 요인은 크게 공력에 의한 관토티라프의 양력변화와 차량의 진동 그리고 가선의 형태와 특성에 따른 가선의 파동변화로 구분할 수 있다.

동적거동을 검증하는 실험 중의 하나인 추종성능시험은 크게 두가지로 나누어 구분할 수 있다. 하나는 추종진폭 특성시험으로써 가선에서 관토티라프에 가해지는 파동 주파수에 따른 관토티라프의 추종 특성을 분석하는 시험으로 파동 주파수에 따른 관토티라프의 추종진폭을 찾아내는 시험이다. 보다 현차에 가까운 조건을 반영하기 위해서 차량에서 전달되는 차체 진동을 고려한 상태에서 본 시험을 수행하는 것이 필요하다. 다른 하나는 개발된 관토티라프가 운행하게 될 가선의 특성을 고려하여 다양한 속도와 관토티라프의 조건에 대하여 접촉력의 변화를 고려하는 것으로 집적적인 가선과 관토티라프의 인터페이스를 확인하는 시험인 전차선별 추종성능시험이 있다. 이 시험을 실질적인 전차선의 거동을 실험적으로 구현하기 위해서 많은 어려움과 비용이 소요되는 관계로 단순화된 실험을 실시하거나 수치해석을 통해 가선의 거동을 모델링하여 관토티라프와의 접촉력 변화를 분석하고 있다.

본 연구에서는 한국형 틸팅차량의 틸팅용 관토티라프로 개발된 싱글암 타입의 관토티라프에 대한 추

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 유진기공사업주식회사 차장

*** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

**** 한국철도기술연구원 연구원

종성능시험 중 전자에 해당되는 전차선의 거동 주파수별 판토히라프 추종진폭 특성시험을 수행하였다. 본 실험을 통하여 1Hz ~ 20Hz 의 다양한 가선의 주파수 변동에 따른 주파수별 추종 진폭을 구하여 특성 곡선을 얻어내었다. 다양한 판토히라프의 접은 높이와 전차선의 접촉 부위에 따른 추종진폭의 변화를 검토하여 각 요인에 대한 영향을 검토하였다. 본 논문을 통해서 연구에 활용된 실험장비의 특성과 기능을 소개하고 다양한 조건에서 얻어진 실험결과를 제시하고 그 결과를 통해서 개발된 판토히라프의 추종진폭 특성을 평가하고자 한다. 또한 다양한 조건에서 얻어진 실험결과를 검토하여 얻어진 특성을 통해 각 요인의 영향력을 평가 할 것이다.

2. 실험장비 기능과 특성

본 연구에 활용된 시험기는 판토히라프의 동적성능을 확인하기 위한 장치로서 판토히라프 고정을 위한 지그와 상·하 액츄에이터 그리고 두 개의 Servo Controllers와 Main computer로 구성되어 있다. 하부의 액츄에이터는 판토히라프로 전달되는 차량진동을 구현하는 역할을 수행하며 Servo controller에 의해서 조정되어 진다. 상부의 액츄에이터는 전차선의 파동에 따른 전차선의 진폭을 구현하는 것으로 다양한 전차선의 구조에 따른 경간과 드롭퍼에 의한 진폭변화를 구현할 수 있다. 또한 추종진폭시험에서 주파수별 진폭 변화를 구현하는 역할을 담당하고 있다.

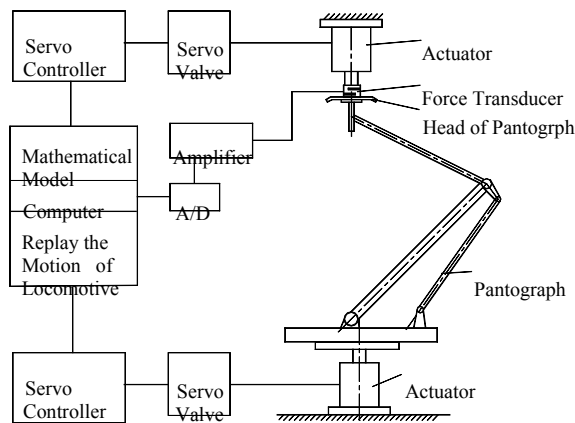


그림 1. 판토히라프 추종성능시험기 구조 개요

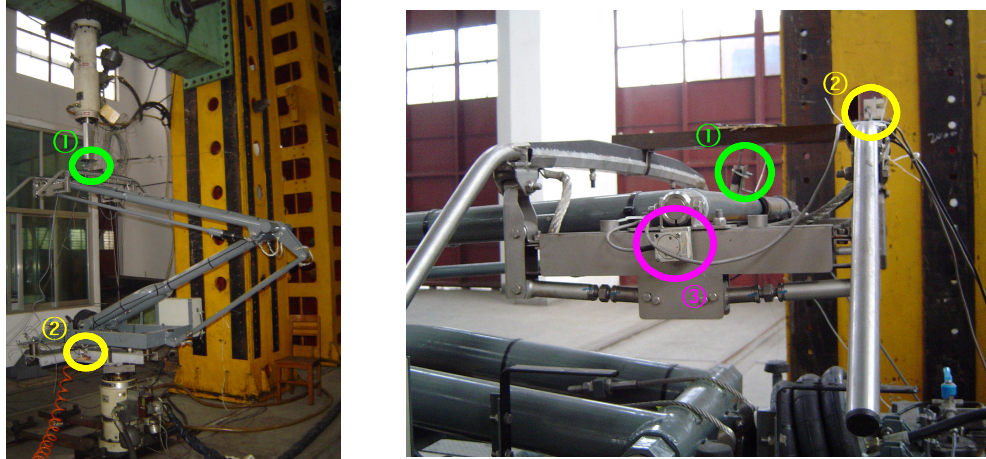
서론에서 언급한 바와 같이 전차선의 형태와 특성에 따라 현실적인 가선의 상하 거동을 실험적으로 구현하기가 어렵기 때문에 일반적으로 수치해석을 통한 모델링으로 전차선의 특성을 고려한 판토히라프와의 추종성능평가를 대신하고 있다. 해외의 추종성능시험기 중에 가선의 형태와 특징을 구현하는 시험기가 있지만 이것 또한 한계를 가지고 있어서 단순한 가선의 경간과 드롭퍼의 특성을 구현할 뿐 판토히라프에 의한 가선의 영향을 구현하지는 못한다. 본 장비의 주요 특징으로는 수치해석의 제한과 실험장비의 한계를 고려하여 전차선의 파동 전파에 따른 판토히라프의 반발력을 측정하여 판헤드에 의한 전차선의 진폭변화를 계산하여 상부의 모의 전차선 운동 액츄에이터에 영향을 반영할 수 있도록 실험적 결과와 모델링을 동시에 수행할 수 있게 구성되어 있다.

하이브리드 기능에 대한 설명은 추후 국내 전차선의 특성을 고려한 추종성능시험 결과에 대한 연구에서 자세히 언급하기로 한다.

본 실험에서 사용된 측정용 센서는 습전판과 가선 가지를 위한 상부 액츄에이터 사이에 위치한 로드셀로 가선과 판토히라프의 접촉력을 계측하고 모니터링 하며(그림 2(a)의 ①), 판토히라프의 상부프레임의 최상단과 베이스 프레임 사이에 설치된 변위계는 판헤드의 조립체와 판토히라프 상단의 움직인 거리를 기록하는데 사용된다(그림 2(a)의 ②).

또한, 판토히라프의 상단에 위치하고 가선과 접촉을 유지한 습전판의 거동을 계측하는 변위계가 판토히라프 상부프레임의 최상단과 습전판 사이에 부착되어 있다(그림 2 (b)의 ①). 판헤드의 상하 이동에

따른 가속도 계측을 위한 가속도계가 습전판의 상부에 부착되어 있으며(그림 2(b)의 ②), 판토폴라프 상부프레임의 가속도 계측을 위한 가속도계가 집전판의 개별 판 스프링의 하부에 위치하고 판토폴라프 상단프레임과 연결된 팬헤드의 하부 프레임에 부착되어 있다(그림 2(b)의 ③).



(a) (b)
그림 2. 추종진폭 특성 실험을 위한 시험장비 및 센서 취부 위치

3. 실험항목과 절차

3.1 작용 조건에 따른 판토폴라프 추종특성 분석

가선의 가진 주파수변화에 따른 판토폴라프의 추종진폭에 대한 특성곡선을 얻어내기 위하여 실시된 본 실험에서는 판토폴라프의 다양한 동작 조건에서 추종진폭 특성을 분석하기 위하여 표1에 제시된 바와 같이 14개의 조건에서 실험을 실시하였다. 검토된 조건은 크게 3가지로 구분된다. 우선 판토폴라프의 추종성능에 주요한 역할을 차지하는 판토폴라프 damper의 특성 값의 변화에 따른 추종성을 평가하기 위하여 두 종의 damper에 대하여 실험을 실시하였다. 다음은 동작상태에 대한 조건으로 전차선의 다양한 높이변화에 따른 판토폴라프의 추종성을 확인하기 위하여 작용 높이의 3가지 경우에 대하여 실험을 수행하였으며, 가선의 stagger를 고려하여 전차선과 팬헤드의 좌우 접촉위치 3가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

표 1. 추종진폭 특성실험 시험항목별 조건

Case	판토폴라프 작용 위치			전차선의 접촉 위치			damper		주파수 단계
	최저	표준	최고	좌	중앙	우	60Ns/m	140Ns/m	
1	●			●			●		7
2	●				●		●		7
3		●		●			●		7
4		●			●		●		19
5		●				●	●		19
6			●		●		●		7
7			●			●	●		7
8	●			●				●	7
9	●				●			●	7
10		●		●				●	7
11		●			●			●	19
12		●				●		●	19
13			●		●			●	7
14			●			●		●	7

3.2 실험절차

추종진폭 시험은 판토폴라프의 높이 변화와 가선의 좌우 접촉 위치에 따른 영향을 고려하여 그림3에

서와 같이 resting position을 기준으로하여 최소(185mm), 표준(800mm), 최고작용높이(2400mm) 등 3가지의 경우와 좌 또는 우(± 200 mm) 그리고 중앙으로 구분하여 시행하였다. 두 종의 damper (60Ns/m와 140Ns/m)에 대한 비교 평가 자료를 취득하기 위해서 각 damper에 동일한 시험을 실시하였다.

각 시험 case에 대하여 추종진폭시험은 전차선 파동 주파수 1Hz ~ 20Hz 범위에서 수행하였으며, 실험 시간의 제한과 조건의 중요도를 고려하여 19단계와 7단계로 나누어 실시하였다. (1, 1.5, 3, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5, 12, 15, 20, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11Hz) 단, 주파수 변화에 따라 추종진폭변화가 큰 경우는 사이의 주파수를 선정하여 추가 실시함으로써 추종특성의 급한 변화를 찾아내었다.

각 실험은 전차선의 진동 주파수가 고정된 상태에서 최소 1mm에서부터 최소 10cycle를 반복한 후 1mm 간격으로 진폭을 서서히 증가하면서 접촉력의 변화를 확인함으로써 접촉력이 0이되는 지점의 진폭을 기록하여 해당주파수의 추종진폭으로 결정하였다. 주파수별 시작 진폭은 특성곡선의 유형을 감안하여 시험시간을 줄이기 위해 조정되어졌다.

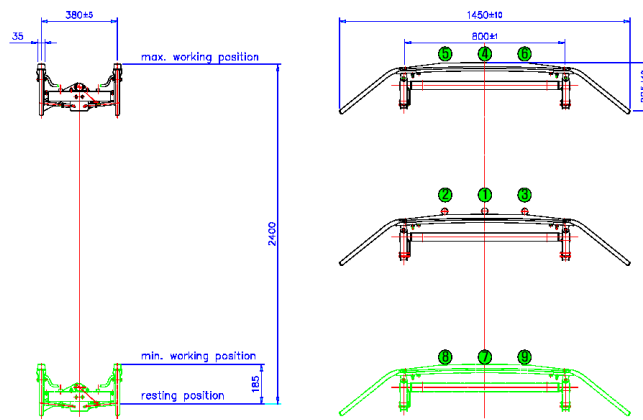


그림 3. 판토히라프의 작동 높이에 따른 가선 접촉 위치

3.3 실험결과의 평가기준

주파수별로 얻어낸 이선 발생 진폭을 그래프로 나타내어 경간과 드로퍼에 따른 전차선 파동의 영역 주파수에 대한 추종진폭을 평가하는데 사용된다. 국내 기존 전차선의 일반적인 경간의 길이는 50m이며 드로퍼의 간격은 경간에 10개가 설치되므로 5m로 가정하여 차량속도에 따른 경간과 드로퍼의 특성 주파수를 결정한다.

경간의 경우는 가선의 가진 주파수 1Hz가 180km/h에 해당되고 드로퍼의 경우 10Hz가 180km/h에 해당된다. 판토히라프의 가선 추종성에 주요 영향을 발생하는 경간에 해당하는 주파수 영역에서는 추종진폭이 크게 나타야도록 판토히라프가 설계되어야 하며 가선의 폭이 크지 않은 드로퍼의 영역인 5Hz ~ 11Hz까지 즉 차량속도 90km/h ~ 200km/h 까지의 추종진폭은 작게 나타나지만 최소 1mm 이상의 값을 유지하여야 한다. 또한 판토히라프의 고유주파수 영역이 위에서 언급하는 주파수 영역을 벗어나야 한다.

4. 실험결과 분석

4.1 판토히라프 댐퍼특성 비교

중고속용 한국형 전기식 틸팅열차의 판토히라프로 개발된 싱글암 타입의 틸팅판토히라프는 기존 가선의 다양한 높이에 적합하고 틸팅 시 차량의 틸팅에 의해 판토히라프가 가선을 벗어나지 않도록 역틸팅하는 중에도 안정적인 집전성을 발휘할 수 있어야 한다. 또한 가선의 마모와 이선율의 감소를 위해 상방되는 조건에 적절히 부합되어야 한다. 따라서 본 실험에서는 다양한 판토히라프와 가선의 접촉이 발생하는 위치 그리고 판토히라프의 댐퍼에 대한 특성을 분석하고자 한다.

그림 4에 제시된 그래프는 판토품의 표준 작동높이 800mm에서 가선이 판토품의 중심을 접촉하는 경우에 대한 결과이다. 일반적인 추종진폭 특성곡선의 형태를 가지는 것으로 판토품의 1차 고유주파수인 4Hz 부근에서 진폭의 급격한 감소가 일어나고 다시 증가한 후 다시 2차감소를 나타내고 다시 약간 증가 한 후 서서히 주파수에 증가에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이런 경향은 일반적인 싱글암 타입의 판토품에서 나타나는 경향으로 많은 문헌에서 확인할 수 있다. 이런 특성을 고려하여 판토품이 운행되는 속도에 맞도록 특성을 조정하는 것이 필요하다.

본 틸팅차량용 판토품의 추종진폭 특성실험을 실시하기에 앞서서 수치해석을 통한 한국형 틸팅차량 추종진폭 특성연구가 참고문헌1에 언급된 한국철도기술연구원의 연구진에 의해서 수행되어졌다. 이를 통해 검토가 요구되어졌던 판토품 댐퍼에 대한 영향을 분석하기 위하여 두가지 댐퍼에 대한 진폭특성을 비교하여 그림 4에 제시하였다. 댐핑계수가 큰 경우가 작은 경우보다 주파수가 높은 영역에서 다소 좋은 특성을 나타내지만 그 차이는 크지 않았으며 주파수가 낮은 영역에서는 댐퍼의 영향력이 없는 것으로 나타났다. 이는 댐핑의 효과가 판토품의 추종진폭 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것을 의미한다. 그러나 본 논문에서는 제시하지 않았지만 전차선의 특성을 고려한 추종성능실험에서는 댐핑계수가 높은 것이 고속에서 이선율을 감소하는 것으로 나타났다. 이에 대해서는 추후 논문에서 자세히 언급하기로 한다.

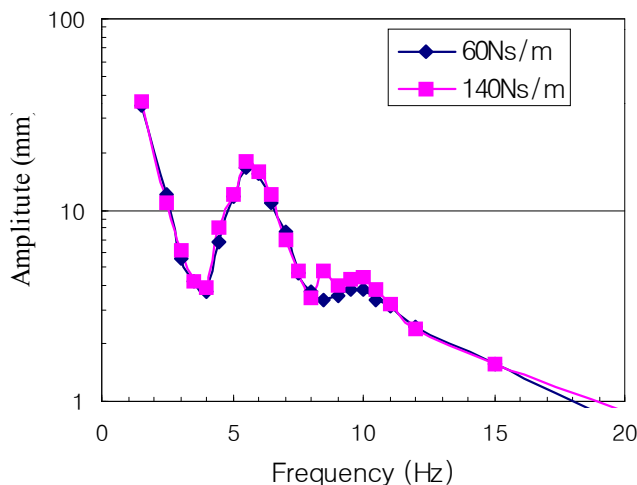


그림 4. 댐핑계수 변화에 따른 추종진폭 특성시험

4.2 판토품의 작용높이에 따른 특성 비교

다양한 전차선의 높이를 가지는 기존선의 특성을 고려하여 판토품의 작용 높이에 따른 특성을 비교한 실험결과는 그림 5에 제시되어 있다. 실험결과 기존선에서 집적성능을 보장해야하는 작용범위에 대해서 본 판토품은 추종진폭에 대해서는 양호한 것으로 판정되어 진다. 최대작용 높이(2400mm)는 판토품의 작용가능한 최대높이를 의미하며 실질적인 기존선의 최대 높이는 1500mm 이하이다. 표준 작용 높이를 기준으로 최소높이와 최고높이에서의 추종진폭 특성을 비교하면 최고작용높이에서 가장 작은 추종진폭을 나타내며 최소높이에서는 표준높이에서와 거의 동일한 결과를 나타내고 있다. 특히 낮은 주파수 영역에서 다른 결과에 비해 추종성이 많이 저하되고 있으며 다시 11Hz 이상 영역에서부터 저하 특성이 나타난다. 이는 판토품의 최고 작용높이에서 나타나는 압상력의 감소에 영향을 받는 것으로 추정된다.

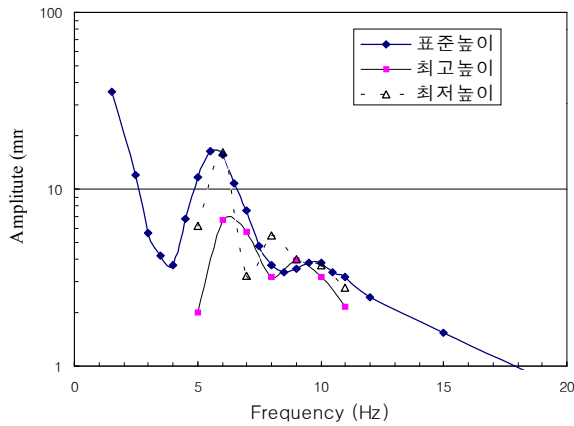


그림 5. 판토품라프의 작용높이에 따른 영향

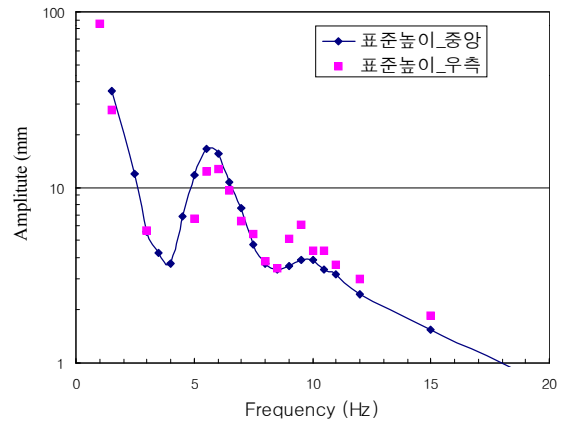


그림 6. 가선과 판토품라프의 접촉 위치에 따른 영향

4.3 판토품라프의 접촉위치에 따른 특성 비교

가선은 레일의 중심에 위치하지 않고 지그재그 형태로 궤도 위에 가설되어 판토품라프와의 접촉면을 증가시키는 효과를 발휘한다. 따라서 차량의 주행중에 가선은 항상 판토품라프의 집전판의 좌우를 250mm의 폭을 두고 접촉하고 있다. 이러한 특성을 고려하여 판토품라프의 추종 특성을 평가하기 위하여 접촉위치의 변화에 따른 추종진폭시험을 실시하였으며 그 결과는 그림6과 같다. 본 실험 결과 가선의 행거에 대한 판토품라프의 추종특성은 양호한 것으로 분석되어진다. 가선이 판토품라프의 중앙을 접촉하는 경우를 기준으로 우측 200mm에서의 추종 진폭은 드롭퍼의 영향이 나타나는 주파수 영역에서 아주 우수한 것으로 나타나고 있다. 이는 본 판토품라프의 팬헤드의 하부를 지지하는 스프링이 4지지점에서 개별적으로 작용하는 특성에 따라 중앙에서보다 편측에서의 스프링 계수값이 떨어지면서 주파수가 다소 증가되는 7Hz 이상에서 추종성이 향상되는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 한국형 틸팅열차에 적용하기 위하여 개발된 판토품라프의 추종성능시험 결과 중 추종진폭 특성시험에 대한 결과를 기술하였다. 판토품라프의 추종진폭 특성을 평가하기 위해 수행된 본 실험을 통해 다양한 판토품라프의 운행 조건에 대하여 적합한 추종진폭 특성을 나타냄을 확인하였다. 또한 본 연구를 통해 분석된 판토품라프의 작용높이와 접촉위치에 대한 영향 분석 결과는 향후 다양한 조건에 적합하게 설계되어지는 판토품라프의 사양결정에 활용되어질 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 건설교통부 철도기술연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원의, "속도향상에 따른 가선설비 개량방안 연구 (4차년도 연차보고서)", 건설교통부, 2005
2. 한국생산기술연구원의, "판토품라프 개발 (2단계 1차년도 보고서)", 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부, 2000
3. W. Zhang, G. Mei and J. Zeng, "A study of Pantograph/catenary System Dynamics with Influence of Presag and Irregularity of Contact wire", Vehicle System Dynamics Supplement 37, pp.593-604, 2002