

틸팅차량용 판토틀라프 제어기술 연구

*이수길, 한성호, 유원희, 신광복
한국철도기술연구원 기조철도기술개발사업단

Study of Tilting Train Pantograph Control System

Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Won-Hee You, Gwang-Bok Shin
Korea Railroad Research Institute

Abstract - This paper describes the pantograph design result for tilting train at conventional railway. EMU(Electrical Multiple Unit) Tilting Train is important tilting pantograph. Tilting train pantograph should be operated to commercial service speed 180Km/h of 200Km/h at KNR upgrade railroad. This paper is write tilting train pantograph control system

1. 서 론

판토틀라프는 전차선(catenary)으로부터의 전류를 차량에 전달하는 장치로서 전동차 지붕 위에 설치되어 있다. 판토틀라프의 설계 목표는 고속 및 다양한 환경 조건하에서 연속적이고 일정한 량의 전류를 차량에 전달하도록 하는 것이다. 열차가 고속화될수록 전류의 흐름이 중단되는 이선, 접촉선과 판토틀라프 집전판의 마모, 공력 소음 등이 큰 문제로 대두되며, 이들 문제들이 고속용 판토틀라프의 설계 기술에서 중요시되고 있다. 특히 이선은 동력 전달이 중단될 뿐만 아니라 이선 시에 발생하는 아크로 인한 마모 증대, 통신 장애를 일으킨다. 유럽과 일본에서는 그러한 문제를 인식하고 고속용 판토틀라프에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 또한 저속전철이나 고속전철을 운행하는 나라에서는 기존의 가선계를 그대로 이용하면서 고속화를 달성하기 위하여 기존 가선계에 대한 최적의 판토틀라프 설계에 노력을 기울이고 있다. 본 논문에서는 국내 기존선 고속화에 필요한 최고속도 180km/h급 틸팅차량시스템의 핵심구성요소인 판토틀라프 제어기술에 대한 연구를 통하여 보다 안전한 틸팅차량용 판토틀라프사양 개발하는데 목적이 있다

2. 틸팅 차량용 판토틀라프

2.1 판토틀라프

판토틀라프의 상하운동을 하는 프레임 구조에서 상부는 크기나 형상의 차이가 있지만 기본적으로는 같다. 그러나, 동작 방식의 차이에 따른 상승·하강동작의 구조부분은 다르다. 공기상승 자동 하강식은 상승 및 하강 동작속도를 제어하는 관계로 스프링상승 공기하강식보다 구성부품이 많다. 공기상승 스프링 하강은 공기상승 자동 하강식과 거의 유사하며, 상승·하강 동작 속도 제어가 가능하고 구성부품이 적다.

오늘날 전 세계에서 사용되는 판토틀라프는 거의 대부분 수동형 시스템으로 볼 수 있다. 가장 널리 이용되고 있는 판토틀라프의 기본 구조는 대칭형 구조 판토틀라프 그림 1(a)(b)와 그의 변형인 비대칭형 판토틀라프이다(그림(b)). 또한 90년대 후반에 일본에서 개발한 Telescope 형태이 있다

대칭형 판토틀라프는 상대적으로 중량구조이면서 소음에 불리한 점이 있으나 대칭구조이므로 설계가 용이한

장점이 있다. 비대칭형 판토틀라프 구조의 이점은 상대적으로 경량 구조면서도 큰 기계적 강성을 갖고 접히는 공간은 적으나 넓은 범위의 가선계 높이에 이용 가능하다는 것이다. 또한 중요 파라메타 즉, 예로써 암의 길이를 약간 수정하면 다양한 조건에 쉽게 적용할 수 있다. 그리고 경량구조로 소음저감에도 큰 효과가 있다. 다만 비대칭구조이어서 고도의 설계기술을 요구한다. 그림 1(a)(b)는 대칭형 판토틀라프인 diamond type 및 crossarm type 판토틀라프의 모습을 나타내고, 그림 1(c)는 single arm type 판토틀라프의 대표적인 모습을 나타낸다.

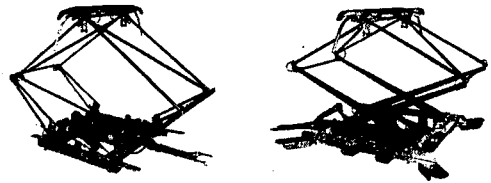


그림 1(a)(b). 판토틀라프의 형식

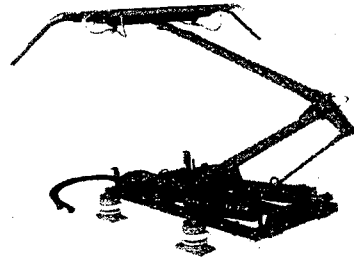


그림 1(c). 판토틀라프의 형식

2.2 틸팅차량용 판토틀라프 설계 기술

곡선에서의 원심력에 의한 차량 전복 및 승차감 저하 우려 때문에 열차의 속도를 높이려면 곡선에서는 적절한 Cant를 주거나 곡선을 직선에 가깝게 꺾어 하는데 이는 많은 비용이 소모된다. 따라서 선로 측에 대책을 세우는 대신 차량 측에 적절한 대책, 즉 곡선에서는 차량이 진자(추)처럼 선로 내측으로 기울게 한다면 선로에 캔터를 주는 것과 똑같은 효과를 얻을 수 있어 적은 비용으로 열차속도를 높일 수 있다는 아이디어를 이용하여 제작된 차량이 틸팅 차량(Tilting train)이다.

틸팅 차량에 설치되는 판토틀라프는 집전판과 접촉선 사이에 적절한 접촉을 유지할 수 있도록 틸팅되는 차체와 반대방향으로 자동적으로 기울도록 하는 틸팅 장치에 설치된다. 틸팅차량은 곡선부를 일반차량보다 높은 속도로

주행하는 차량이다. 틸팅은 곡선부 주행시 차체를 곡선의 안쪽으로 기울이게 하는 기술로써 곡선부를 주행함으로써 발생하는 원심가속도를 중력가속도의 횡방향 성분으로 감쇄시켜 결과적으로 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시키는 기술이다.

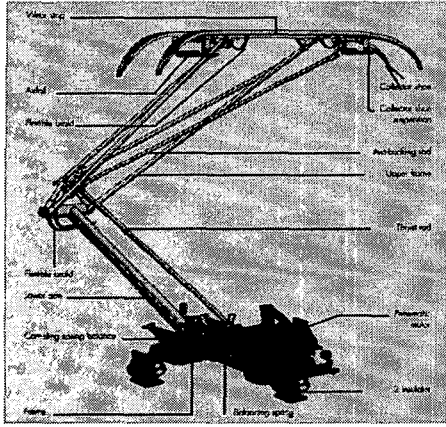


그림 2. 판토품의 구조

차량에 이와 같은 틸팅 기술을 적용하면 승차감의 향상뿐만 아니라 곡선부 통과속도를 증가시킬 수 있게 되므로 운행시간이 단축되며, 곡선부 통과시의 가감속 빈도도 줄어들어 그 만큼의 에너지 소비도 줄일 수 있게 된다. 틸팅은 곡선부에서 약 30%정도의 속도향상을 가능하게 해준다. 일반적으로 곡선부의 속도제한은 궤도역전이나 차량의 성능에 따른 제한보다는 승차감의 저하를 방지하기 위해 규정지어진 것이다. 즉, 곡선부 주행시 승객이 느끼는 횡가속도가 일정 값을 초과하지 않도록 제한되어진 것이다. 위와 같은 틸팅의 원리에 따라, 틸팅차량은 노선에 곡선부가 많을수록 그 위력을 많이 발휘할 수 있다. 틸팅차량을 적용하면 기존선에서 차량의 속도를 30% 정도 향상시킬 수 있으나, 전력공급 측면에서는 차량이 기울기 때문에 안정적으로 전력을 공급할 수 없고 이선이 많이 발생할 수 있다. 가선과 판토품은 서로 밀접한 구조로 하나의 진동계로 구성이 되어야 한다.

3. 틸팅 차량용 판토품 제어

3.1 틸팅 판토품의 구성

틸팅 판토품의 제어알고리즘은 외국의 차량사에서 기술이전 및 공개를 하지 않는 핵심 요소기술로 본연구에서는 그 원리와 판토품 제어의 핵심적인 사항을 전체적으로 기술하였다. 그림3은 판토품 틸팅이 이루어지는 구조를 나타낸 그림이다. 이 차량은 ICN 차량의 틸팅 구조를 나타낸 그림이다. SE는 차량의 선두와 후부에 위치하고 있으며 차량이 곡선 선로를 진입할 때 곡선을 인식하는 센서이다. 센싱 방법에는 여러 가지가 있으나 현재 가장 많이 사용하는 방법은 자이로스코프를 이용한 횡가속도 측정방법이다. 차량이 곡선 선로를 진입할 때 횡가속도가 발생하고, 발생한 횡가속도를 필터링 처리한 후 일정 값 이상이 되면 곡선으로 인식하는 방법으로 가령이 싸고, 차량의 내부에만 센서가 있으면 된다는 장점이 있으나, 선두차가 곡선을 인식하는 시간이 필요하므로 시간지연이 필연적이다. 그러므로 선두차는 항상 시간지연을 가지고 운행을 하여 선두차의 승차감이

좀 떨어진다.

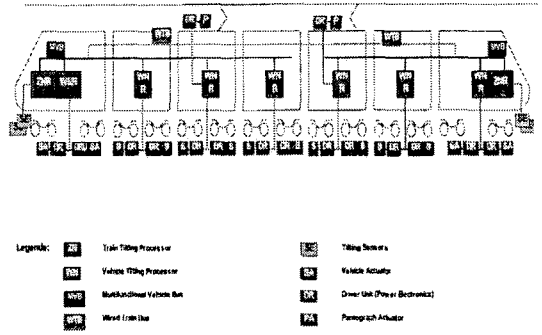


그림 3. 판토품 틸팅 구조

또다른 방법으로는 선로의 각 곡선 위치를 표시하는 방법으로 승차감 및 정확한 틸팅제어가 가능하지만 선로 전체에 센서를 부착하고 차량에도 선로를 인식하는 센서가 필요하여 설치비용이 많고, 유지보수가 힘들다. 그리고 유럽에서는 GPS를 이용한 선로데이터 전송으로 곡선 위치를 확인한다. 이 방법은 차량의 위치를 파악하는데 1-10초 정도의 시간이 소요되며, 터널과 같은 GPS 수신이 불가능한 지역에 기지국이 설치되어야 하는 단점이 있다. 현재 국내에는 산악지형이 많아 GPS를 사용하면 터널내 기지국을 많이 설치해야하므로 비용이 상당히 증가할 것이다. 그리고 곡선 선로 위치센서를 부착하는 방법 또한 곡선선로가 많아 불리하다. 현재까지의 검토 결과로는 차량내 곡선검지 장치를 부착하여 사용하는 방법이 가장 적합하다. 그리고 판토품과 대차는 같은 틸팅구조로 형성되어있기 때문에 단독적으로 틸팅은 불가능한 구조 즉 상호 어려감시 기능이 추가되어야 보다 안정된 틸팅을 구현할 수 있다.

3.2 틸팅 판토품 제어의 제어

그림 4은 틸팅 판토품 제어 구성도이며 WNR은 차량 컴퓨터로서 시리얼로 각 하부기기와 통신을 하고있으며, 전기적으로 절연처리가 되어있다. DRUI는 전력장치로서 판토품 및 대차틸팅을 위한 전력을 공급하는 장치이다.

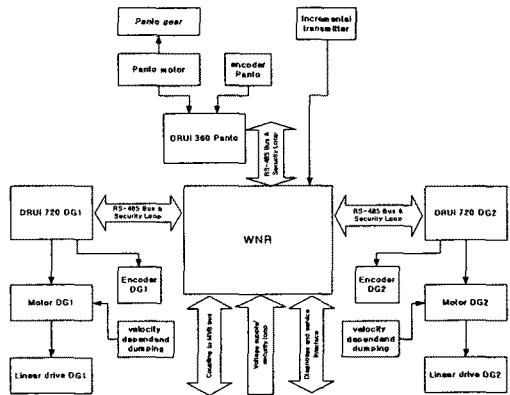


그림 4. 틸팅 판토품 제어 구성도

MVB 및 WTB는 차량 통신선으로서 차량 컴퓨터에서 발생된 또는 필요한 데이터를 다른 차량 또는 편성제어

컴퓨터에서 전송받을수 있는 차량간 통신선이다. WNR 은 편성제어 컴퓨터로부터 곡선 데이터를 통신으로 전송 받아 시리얼 통신을 이용하여 DRUi 로 보내진다. DRUi 는 차량의 모터를 통해 판토타그래프의 위치를 제어한다. 그리고 엔코더에서 입력받은 현재 위치를 WNR로 전송 하여 현재 판토타그래프의 위치를 계속 수정 할 수 있는 구조로 되어 있다.

- [3] 호남선 전철화 타당성 조사 및 기본 계획, 한국철도 기술연구원, 2001
- [4] 기존선 고속 틸팅 열차 차량 시스템 요구사항, 한국 철도기술연구원, WBS No : 2100-D001 Rev.A

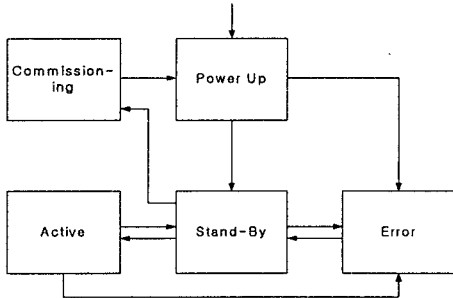


그림 5. 틸팅 판토타그래프 제어알고리즘

그림 5는 틸팅 판토타그래프 제어알고리즘을 나타내고 있다.

- Power Off : Conventional Mode
- Power Up : Initialize Mode
- Stand-By : Ready Mode
- Active : Tilting Control Mode
- Commissioning : Service Mode

Power Off 모드는 일반적인 모드로서 일반차량의 판토타그래프와 동일하게 동작하는 모드이다. 차량이 직선 선로를 운행할 경우는 Power Off 모드로 운행이 되고 있다. Power Up 모드는 초기화 모드로 차량이 곡선 선로 진입 전 차량의 상태를 확인하는 모드이다. Stand-By 모드는 곡선선로에 진입 단계에서 초기화 모드를 끝내고 판토타그래프의 틸팅 대기 모드이다. Active 모드는 판토타그래프가 틸팅제어를 행하는 모드이며 에러 체크루틴이 연속적으로 수행되고 있다. Error 모드는 Active 모드 및 타모드에서의 작동 불능 및 기타 틸팅을 수행하지 못하는 경우 에러 모드로 천이되며 에러모드에서 다시 Active 모드로 복귀하지 못한다. 왜냐하면 틸팅을 수행중에 에러가 발생하여 에러모드로 천이되었을 경우 차량은 곡선 선로를 진행중이므로 안전을 위해서는 틸팅을 수행하지 않는 것이 적합하다.

4. 결 론

틸팅용 판토타그래프는 아직 국내에서 개발이 되어있지 않고 외국에서도 몇몇 업체에서만 생산하는 틸팅차량 핵심 기술이다. 본연구에서는 향후 국내에서 틸팅차량이 양산 되면 틸팅차량용 판토타그래프의 제어장치 구성을 국산화 할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Dr.-Ing, Klaus Becker etc, "Systematic development of a high-speed overhead contact line", Railway Technical Review No. 3-4,
- [2] Schneider, R., Pantographs for Tilting Trains, Colloguium digest, IEE, Issue 509, 1998