

## 틸팅시스템 성능평가에 관한 연구

한영재\*, 이수길\*, 조정민\*, 이영훈\*, 한성호\*  
한국철도기술연구원\*

### A Study on Performance Evaluation of Tilting System

Young-Jae Han\*, Su-Gil Lee\*, Jung-Min\*, Young-Hun Lee\*, Seong-Ho Han\*  
\*Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 철도는 안전성, 신뢰성, 에너지절약 등 여러 가지 측면에서 다른 교통수단과 비교하여 여러 장점을 가지고 있기 때문에 많은 나라에서 각광을 받아 왔다. 최근 들어서는 고속열차 뿐만 아니라 기존선을 고속으로 주행하기 위한 연구도 활발하게 수행되고 있다. 이 논문에서는 독자 기술로 개발된 한국형 틸팅열차에 탑재되어 있는 틸팅시스템에 대한 성능평가를 수행한 결과에 대하여 살펴보았다.

#### 1. 서 론

현재 한국형 틸팅열차가 개발되어 본선시운전을 수행하고 있다. 이 차량은 기존에 개발된 다른 차량과 다르게 틸팅시스템을 운용하고 있다. 틸팅시스템은 자연계의 파라미터인 각속도, 가속도, 속도 및 위치를 적절히 제어함으로써 철도차량 외의 항공기 방향과 고도를 조양함과 더불어 우주 발사체의 원격조정에 이르기까지 여러 분야에 널리 활용되고 있는 시스템이다.

현장장치의 통합된 제어 시스템에 대한 요구가 증가하고 있고 곡선 주행시 승객이 느끼는 횡방향 가속도를 상쇄시키는 틸팅차량의 장점에 대해 많은 연구가 수행되어왔다.

틸팅차량은 매우 높은 곡선 주행 속도에서도 좋은 승차감을 유지하면서 여행시간을 단축시키는데 매력적이다. 이는 통합된 현장장치 제어 기술이 발달함에 따라 성취될 수 있다. 기존선로에서의 고속화는 곡선선로에서의 속도향상이 필히 요구되므로 따라서 속도향상에 따른 캔트 부족량을 정확히 보상함은 물론 틸팅 제어 시스템에서는 틸팅 시작점과 틸팅 속도가 승차감에 중요한 역할을 한다.

본 논문에서는 개발된 틸팅열차의 안정성 확보를 위해 매우 중요한 틸팅시스템이 정상적으로 동작하는가를 살펴보기 위해 측정시스템을 구성하였다. 이를 통해 한국형 틸팅열차에 취부되어 있는 틸팅시스템의 우수한 성능을 확인하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 틸팅시스템 구성

틸팅 제어장치는 크게 차량 틸팅 프로세서와 열차 틸팅 프로세서로 구분되며, 그림 1은 틸팅 제어장치의 차량 취부도를 나타낸 것이다. 6량 1편성을 구성되고 있는 틸팅차량은 선두부와 후두부에 각각 Bogie 센서를 취부하여 선로 곡선을 감지하고 있으며, Mcp 차량에는 판토크래프 틸팅장치가 취부되어 있어 열차길이 및 열차속도에 따라 판토크래프를 틸팅 제어한다.

틸팅에 관련된 모든 데이터를 TMS 시스템에 RS-485 통신으로 전송되며, 열차 틸팅 프로세서는 bogie센서와 GPS센서, 타코메타 센서 등을 이용하여, 틸팅각을 계산하여 차량 틸팅 프로세서에 전송한다.

열차 제어 시스템(Train Management System : TMS)은 관련 첫 번째 차량의 차체 틸팅 제어장치와 상호 작용하는 RS422 통신을 경유하여 관련 명령을 주는 컴퓨터이다. 처음과 마지막 차 사이의 차체 틸팅 제어장치들은 소속 차 속에서 열차 조절 시스템과 연결된다. 각각의 차의 차체 틸팅 제어장치(Carbody Tilting Electronic)는 RS422 통신을 경유하여 다음 차에 연결된다.

##### 2.2 틸팅전자장치 인터페이스

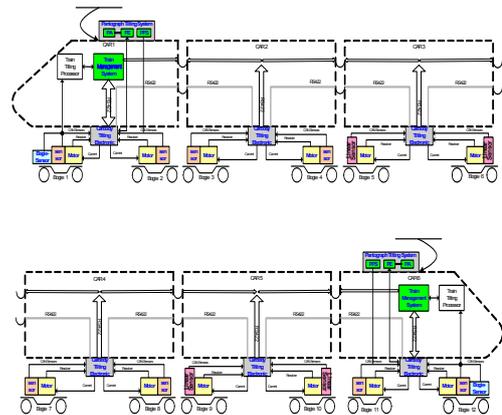
틸팅 시스템은 RS422 통신을 이용 대차 센서와 틸팅 제어 장치로부터 받아들여진 필요한 명령 신호들과 대차 감지기 통한 열차 틸팅 처리장치로부터의 필요 틸팅 명령 신호를 열차 종합 시스템으로 전달한다. 대차 감지기는 바퀴 축 방향의 횡축 가속도를 측정하기 위해 앞뒤 차량의 대차 프레임에 장착된다.

이 신호는 열차 틸팅 처리장치 내에서 처리되어지고 액추에이터를 위한 틸팅 명령 신호로서 사용된다. 각각의 액추에이터는 요구되어진 위치로 이동하며 차량 처리장치에서는 실제 위치로 되돌아오는 신호를 보낸다.

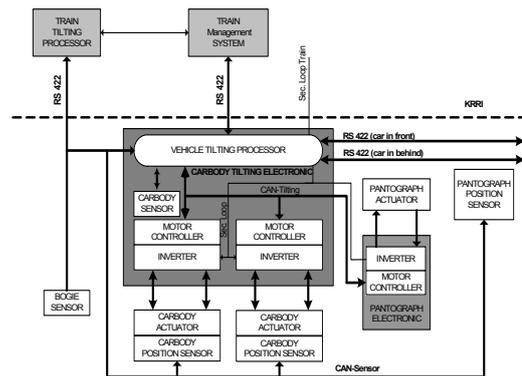
측정되거나 명령되어진 값의 차이는 모터 조절기 속에서 동력학적으로 수정된다.

시스템 초기 작동 시 차량 틸팅 처리장치는 차체 액추에이터 1, 차체 액추에이터 2, 그리고 판토크래프 액추에이터의 위치 감지기 정보를 점검한다. 초기화 후에 관련 구동기 조절기는 자신의 결정된 위치 값들과 함께 작동한다. 액추에이터의 결정된 위치 값들은 비교와 감시를 위하여 부가적인 평가를 한다.

틸팅 시스템은 열차 SECLOOP(안전 폐회로)에 연결된다. 만약 SECLOOP가 개방되어져 있다면, 각각의 액추에이터 개폐기의 변환 장치는 꺼지고 차체는 초기(zero) 위치로 이동한다.



〈그림 1〉 틸팅시스템 구성도



〈그림 2〉 틸팅시스템 인터페이스 구성도

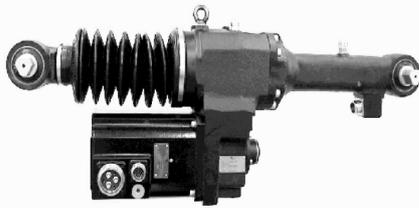
##### 2.3 차량 틸팅시스템

차체의 틸팅을 실행하기 위해서 각각의 대차는 액추에이터와 차체 틸팅 제어장치와 함께 각각의 대차에서 공급되어진다. TMS(열차 종합 시스템)과 차체 틸팅 제어장치 사이의 인터페이스는 RS422 통신을 경유하여 실행된다.

차체 액추에이터 속에서 위치는 실제 행정 위치 값이 차체 틸팅 처리장치로 재전송되어져 보조전동기에 의해서 올바른 행정으로 답하게 되어 차체 틸팅 처리장치에 의해서 명령된다. 양 차체 액추에이터들의 동기화

는 차체 틸팅 처리장치에 의해서 수행되어 진다. 편차가 남아 있는 경우에도 차체 틸팅 처리장치는 다시 작동하게 된다. 그림 3은 차체 틸팅차체 액추에이터의 외형을 보여준다. 주요 부품은 유성 롤러 나사 스프링들, 절대 스프링들 위치 센서, 윈스텝 기어, 브러시리스 동기 모터 및 자세 엔코더 resolver 등이다. 윈스텝 기어는 스프링들 로터와 모터를 연결한다.

차체 액추에이터는 틸팅 대차에 장착되며 각 대차의 대차 프레임과 틸팅 bolster 사이에 설치할 수 있다. 스프링들에는 스프링들의 절대 위치 측정용 선형 센서가 내장되어 있다. 이 센서 정보는 CAN-센서 인터페이스를 통하여 틸팅 프로세서에 직접 전달된다. 차체 액추에이터의 모터에는 로터 위치 감지 센서를 위한 브러시리스 resolver가 추가로 내장되어 있다. resolver 신호는 차체 틸팅 전기장치 내의 해당 인버터에서 처리된다. 차체를 중력에 의하여 가운데로 이동하게 하는 장애가 발생할 경우, 그 차체 액추에이터는 차체가 중간 위치에 원활하게 올 때까지 완충 기능을 담당한다. 정상적인 경우 그 완충 작용은 작동하지 않고 있다. SECLOOP 및 보조 전원의 차단은 완충기능을 작동시킨다.



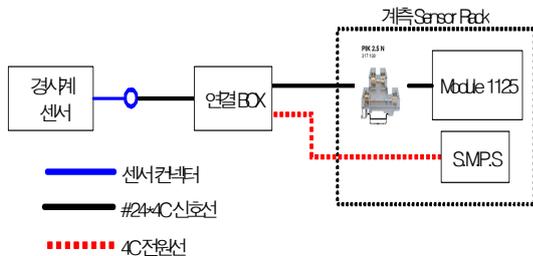
<그림 3> 차체 틸팅 액추에이터

**2.4 틸팅시스템 측정 및 프로그램**

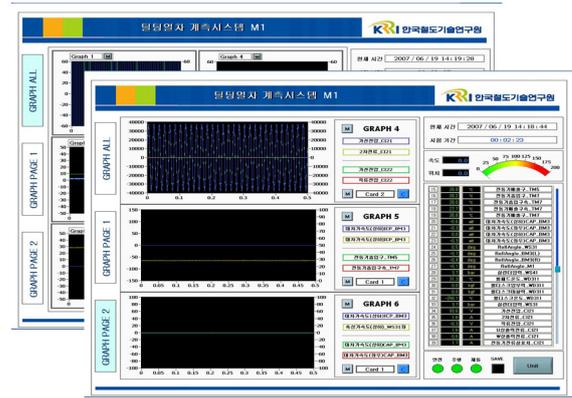
틸팅시스템이 정상적으로 동작하고 있는가를 확인하기 위해 물 경사계를 대차, 차체 등에 설치하였다. 경사계 센서를 통해 입력된 신호는 그림 4와 같이 연결 Box를 통과한 후 각 차량에 취부되어 있는 계측장치로 신호를 보내도록 하였다. 제어 프로그램의 시작 명령을 받으면 Test start 버튼에 불이 들어오고 그림 5와 같이 연동시험 main 화면이 나타난다. 연동시험 main 프로그램은 채널설정에서 저장한 파일의 채널정보를 적용하여 실시간 데이터를 계측 및 모니터링을 수행하며, 측정 데이터 동기를 위하여 제어 프로그램의 명령으로 데이터 저장 및 프로그램 종료가 이루어진다. 계측화면은 Graph Page1, Graph Page2에 각각 4채널씩 3개의 그래프와 Graph ALL에 Graph Page1과 Graph Page2의 모든 그래프를 보여주는 Tab으로 구분한다.

**2.5 시험결과**

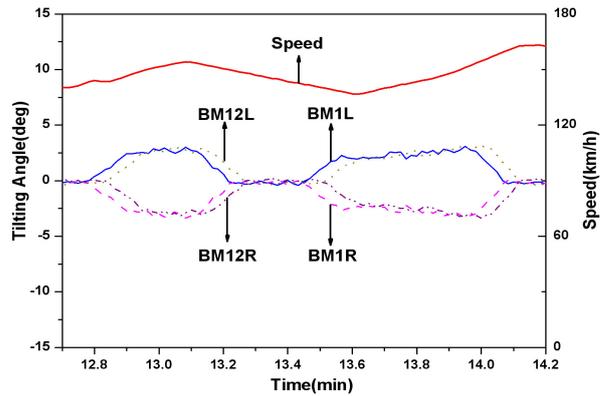
그림 6은 기존선 구간인 오송<->목포의 일부 구간을 운행하며 틸팅시스템 성능을 확인해 본 결과이다. BM(Bogie Motor)에 설치된 센서를 중심으로 살펴보았다. 그림에서 보는 바와 같이, 각 차량으로부터 올라오는 틸팅각이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 또한 틸팅각 측정을 위해 설치한 센서 위치가 좌우이냐에 따라 시험결과도 “0”을 중심으로 일치함을 확인할 수 있다. 이를 통해 열차의 틸팅시스템이 정상적으로 작동하고 있는 것을 알 수 있다. 속도에 따라 약간의 차이는 있지만, 대부분 일정한 시간 간격을 두고 틸팅시스템이 제어되고 있다.



<그림 4> 센서 설치



<그림 5> 계측 프로그램 Main 화면



<그림 6> Mcp1과 Mcp2 좌우 틸팅각

**3. 결 론**

국내 독자기술로 개발된 한국형 틸팅열차는 곡선구간에서 속도를 향상시킬수 있도록 설계된 차량이다. 이러한 핵심기능을 담당하는 것이 틸팅시스템이다. 이 시스템의 성능평가를 위해 하드웨어와 소프트웨어 프로그램이 제작되었으며, 이를 통해 틸팅시스템에 대한 성능평가를 수행하였다. 이를 위해 기존선 구간인 오송<->목포의 일부 구간을 주행하며 차량에 설치된 센서 신호를 분석하여 한국형 틸팅열차의 틸팅시스템이 정상적으로 동작하고 있는 것을 확인하였다. 향후에는 보다 다양한 조건하에서 틸팅시스템을 성능 평가하며 시험을 수행할 예정이다.

**[감 사 의 글]**

본 내용은 국토해양부에서 시행한 한국형틸팅열차 신뢰성평가 및 운용 기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 김석원의 5명, “틸팅차량 성능시험 및 평가기술에 관한 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회, pp. 272~274, 2004.  
 [2] 한성호, 이수길, 송용수, 한영재, 이은규, “전기식 틸팅차량의 주회로 시스템에 관한 연구”, 대한전기학회 2004년도 하계학술대회 논문집, 2004.  
 [3] Y. J Han, K. H. Kim, S. W. Kim, S. S. Kim, Y. M. kim, “A Study on Measurement System for Performance Evaluation of TTX(Tilting Train eXpress) Network”, ITC-CSCC, pp. 637~638, 2007.  
 [4] Y. J. Han, K. H. Kim, C. S. Park, J. H. Kim, H. Kim, “A Study on Characteristic of Electric Apparatus for High-Speed Train”, KIEE conference, pp. 435~437, 2003.