

고속틸팅전기차량(TTX)의 틸팅제어성능 검증을 위한 시뮬레이터 개발

한성호, 김정석, 송용수, 이수길
한국철도기술연구원

Development of tilting simulator for evaluation of Tilting control of Highspeed Tilting EMU(TTX)

Seong-ho Han, Jung-suk Kim, young-su Song, Su-gil Lee
Korea Railroad Research Institute

Abstract - Tilting train has been developed to increase the operational speed of the trains on conventional lines which have many curves. This train are tilted at curves to compensate for unbalanced carbody centrifugal acceleration to a greater extent than compensation produced by the track cant, so that passengers do not feel centrifugal acceleration and thus trains can run at higher speed at curves. This paper developed tilting control simulator to evaluate tilting control performance of TTX(tilting train express) with maximum operation speed 180 km/h.

1. 서 론

본 연구는 국내 기존선로에서의 열차의 주행속도향상에 주요 문제점으로 대두되고 있는 열차의 곡선부 주행시 원심력에 의한 차량탈선방지와 승차감 감소대책으로서 틸팅기술을 적용하는 180km/h급 틸팅전기차량(TTX: Titing Train Express)의 개발에 관한 것이다.

틸팅차량의 개발에 중요한 것은 궤도의 부담력을 최소화 할 수 있도록 차체의 경량화와 기기배치의 최적화가 중요하며 일반차량에 없는 대차에 틸팅메카니즘과 틸팅판토그래프 메카니즘, 틸팅전기장치등이 추가로 설계된다. 틸팅기술은 차량내에서도 대차, 차체, 전기장치, 판토그래프 등과 긴밀하게 인터페이스가 이루어 져야 성능을 만족할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 차량의 제작 이전 단계에서 주어진 가상모의환경을 통해 틸팅제어에 필요한 차량의 동특성과 틸팅액츄에이터 제어성능, 틸팅제어알고리즘의 검증등을 효율적으로 할 수 있는 틸팅제어 시뮬레이터를 개발하였다.

2. 틸팅차량제어 개념

2.1 틸팅차량 정의

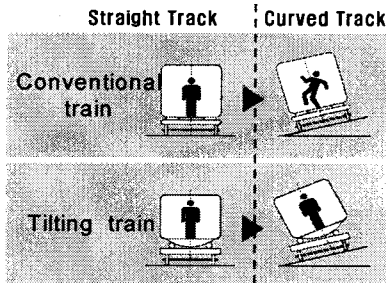


그림1. 틸팅열차 개념도

틸팅열차기술은 열차가 곡선선로를 주행할 때 곡선 바깥쪽으로 생기는 원심력을 곡선 안쪽으로 차체를 기울여 줌으로써 열차의 수직력을 증가시켜 원심력을 감쇄시키는 기술이다. 궁극적으로 열차의 탈선현상이나 승차감(승객들의 몸이 한 쪽으로 기울어지는 현상)을 개선하여 일반열차보다 고속(20-30% 속도향상)으로 편안한 열차 여행을 할 수 있도록 하는 효과가 있다.

2.2 틸팅제어장치 구성 및 기능정의

틸팅시스템은 차상 내에서 곡선을 검지하고, 적절한 연산을 통해 강제적으로 차체를 경사 시키는 강제제어방식이다. 틸팅시스템은 틸팅전기장치와 틸팅기계장치로 구성되며, 틸팅기계장치는 차체/판토그래프 틸팅기계장치로 구성된다.

틸팅전기장치는 틸팅제어장치(열차틸팅제어장치와 차량틸팅제어장치)와 틸팅전력변환장치(차체/판토그래프 틸팅전력변환장치), 틸팅액츄에이터(차체/판토그래프 틸팅액츄에이터), 틸팅센서로 구성된다. 틸팅전기장치는 선두차의 틸팅센서로 곡선을 검지하고, 열차틸팅제어장치로 소요 틸팅량을 연산하여 편성 내 차량에 대해 순차적으로 틸팅을 구동하는 일괄 제어시스템이다.

열차가 틸팅 주행 중 틸팅 시스템의 고장 또는 제어불능 상태로 될 경우 차량이 중력에 의해 자동적으로 차체 중심위치로 복원 되도록 구성하며, 이 경우 일반 차량과 동일한 주행조건에서 정상적인 운행이 가능하다.

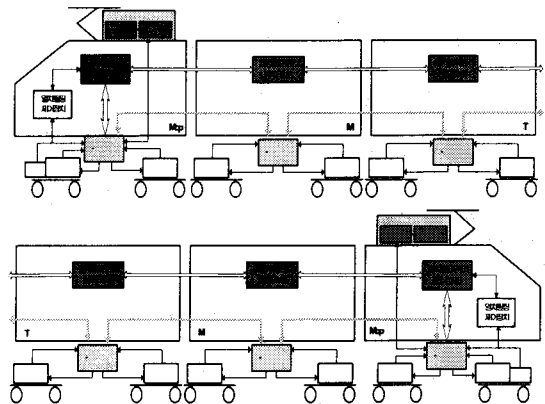


그림2. 틸팅제어시스템 구성도

3. 틸팅차량제어 시뮬레이터 개발

2.1 틸팅차량제어 시뮬레이터 개발 개념

틸팅 차량 모의장치의 목적은 첫 번째로 실제 틸팅 차량의 개발 이전에 다양한 운행조건하에서 틸팅 대차에 장착될 차체 틸팅 시스템 및 독자개발중인 틸팅 제어알고리즘의 성능을 평가하는 것이다. 두 번째로 타 시스템과의 인터페이스 평가 및 틸팅 각속도에 따른 승차감을 평가하는 것이다. 본 연구에서는 틸팅 차량 모의장치를 구동하기 위해 요구되는 철도차량의 동역학 모델을 개발하는 것이다. 본 연구에서 개발중인 틸팅 차량 모의장치의 개념도는 그림 3과 같다.

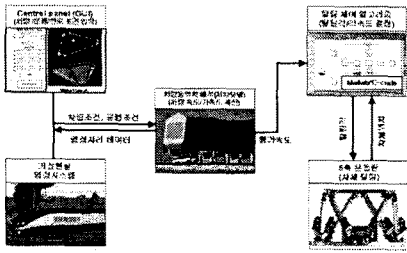


그림 3. 틸팅시뮬레이터 구성개념도

2.2 틸팅차량제어 시뮬레이터 구성 및 기능

본 연구에서 제작하고자하는 틸팅 차량 모의장치는 그림 4와 같이 4개의 시스템과 5개의 구성요소로 이루어져서 그 구성요소들은 아래와 같다.

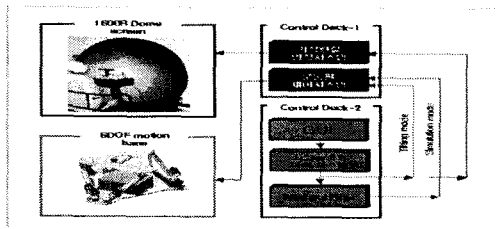


그림 4. 틸팅주행시뮬레이터 시스템연계구성도

① 제어판넬(GUI)

: 제어판넬은 사용자와 모의장치사이의 인터페이스를 제공하는 부분으로 시뮬레이터의 입부제어, 차량 정보입력, 선로조건 설정, 차량운행조건 모니터링, 결과저장 등의 기능을 수행하게 된다. 그림 5는 메인운영화면을 나타낸 것이다.

② 차량 동역학 해석 모듈

: 운동판의 구동과 영상시스템에서 차량의 행을 실시간(real time)으로 구현하기 위해서는 차량의 동적인 정보 즉 변위, 속도, 가속도 등의 정보가 필요하다. 이러한 차량의 동특성은 차량의 동역학 해석을 통해서 계산하게 된다.

③ 틸팅 제어부

: 틸팅 제어부에서는 차량 동역학 해석을 통해서 계산된 차량의 가속도 정보 및 선로조건에서 얻어진 곡선 정보를 종합하여 곡선구선에서 차체의 틸팅각을 결정하는 부분이다.

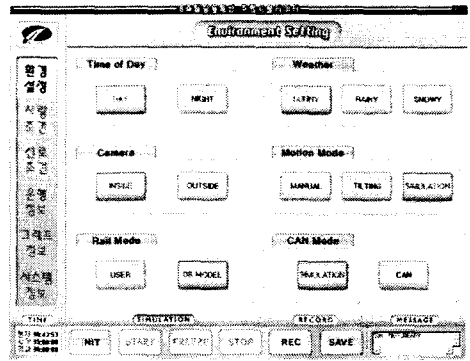


그림 5. 틸팅주행시뮬레이터 제어판넬화면

④ 6축 운동판

: 틸팅 시뮬레이터의 운동판은 틸팅 차량의 실제 운동을 모사하는 부분으로 차체의 롤링(Rolling), 선로 불규칙성에 의한 수직방향 고주파 미세진동 (Heaving), 급가속 및 감속에 의해 전후 진동 (Surging) 및 피칭 (Pitching), 차체의 곡선진행시 횡변위 (Swaying) 등을 모사할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 조건을 만족시킬 수 있도록 6축 운동판으로 제작하였다. 그림 6은 본 연구해서 구현하고자 하는 운동판의 형상이고 표 1은 운동판의 운동 및 가속도 범위이다.

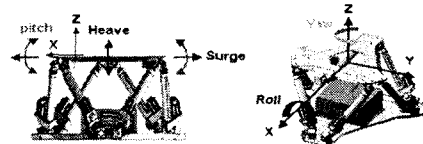


그림 6. 틸팅주행시뮬레이터 6축 자유도베이스

본 연구에서 구현하고자하는 운동판은 제어의 정확도와 빠른 응답특성을 고려하여 볼 스크류 형태의 진동식 액추에이터를 적용하였다.

표 1. 모션베이스 자유도

	Range	Velocity	Acceleration
Pitch	±18° 이상	±30°/s 이상	±300°/s ² 이상
Roll	±15° 이상	±30°/s 이상	±300°/s ² 이상
Yaw	±18° 이상	±30°/s 이상	±300°/s ² 이상
Heave	±7.5cm 이상	±40cm/s 이상	0.5G 이상
Surge	±8cm 이상	±40cm/s 이상	0.5G 이상
Sway	±8cm 이상	±40cm/s 이상	0.5G 이상

⑤ 가상현실 영상 시스템

: 가상현실 영상 시스템은 운동판의 운동과 조합하여 탑승자에게 실제감과 몰입감을 제공하기 위해 그림 7, 그림 8과 같이 돔 스크린 투사방식을 채용할 것이다. 돔 스크린의 직경은 1600mm이고 반구형상을 좌우 180도, 상하 135도 까지 시야를 확보할 수 있다. 3차원 그래픽 이미지의 구현은 OpenGL 라이브러리를 이용하고 1인치와 3인치 뷰를 제공하도록 구현된다.

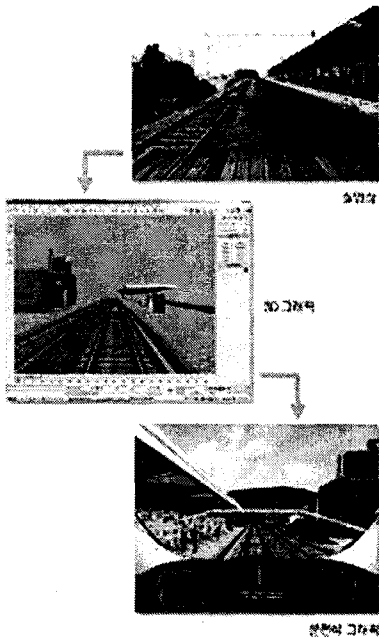


그림7. 틸팅주행시뮬레이터 영상그래픽 운영화면

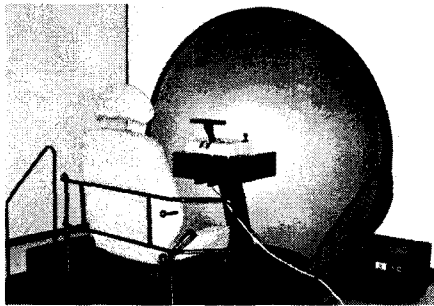


그림8. 틸팅주행시뮬레이터 돔스크린 화면

3. 결 론

본 연구를 통해서 틸팅제어의 성능을 검증하기 위한 틸팅제어시뮬레이터를 개발하였다. 본 시뮬레이터를 이용하여 틸팅제어장치의 인터페이스 조합시험과 기능시험, 특히 틸팅제어 알고리즘의 개발 및 검증을 수행할 수 있다. 향후, Matlab등 시뮬레이션 전용툴과의 연계를 통한 다양한 틸팅모델의 구현과 시뮬레이터 연구가 가능하도록 확장연구할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Vijay K. Grag and Rao V. Dukkipati, 1984, Dynamics of Railway Vehicle Systems, Academic Press.
- [2] B. Eickhoff, G. Scott, R. Troup and P. Annable, 1993, Vehicle Dynamics Training Course, British Rail.
- [3] J. T Pearson, R. M. Goodall, and I. Pratt, 1998, "Control System Studies of an Active Anti-Roll Bar Tilt System for Railway Vehicles," Proc Instn Mech Engrs., Vol. 212 Part F, pp. 43-60.
- [4] A. H. Wickens, 1998, "The Dynamics of Railway

Vehicles-from Stephenson and Carter," Proc Instn Mech Engrs., Vol. 212 Part F, pp. 209-217.

[5] 한국기계연구원, 1984, Development of Tilting Bogie Systems for Overspeed Train, 과학기술처.

[6] 한국기계연구원, 2000, 자동차 기반기술 확립을 위한 6축 운전모사 시스템 개발, 과학기술처.