

한국형 틸팅 차량 동특성 주행 시뮬레이터 설계에 관한 연구

A Study on Design of the Dynamic Simulator for the Korean Tilting Train

김정석* 고태환* 한성호**
Kim, Jung-Seok Ko, Tae-Hwan Han, Sung-Ho

ABSTRACT

This paper presents a design strategy of the dynamic simulator for the Korean tilting train. The tilting train simulator will generate the tilting motion to the lateral acceleration data obtained from the train dynamic analysis. The simulator will be composed of five components : ① GUI control panel, ② train dynamic analysis part, ③ tilting control part, ④ motion base with 6 electrical-motor-driven actuators and ⑤ visualization system. Using the simulator, we will verify the dynamic behaviors of the tilting train, interfaces among subparts and ride comfort before manufacturing of the tilting train.

1. 서론

시뮬레이터를 이용한 연구는 항공기 조종용 시뮬레이터를 시작으로 자동차, 헬리콥터 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 최근에는 컴퓨터 기술의 발달로 가상현실기법을 도입하여 운전자가 시뮬레이션에 적극적으로 참여하여 몰입감과 현실감을 증가시키는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 시뮬레이터의 용도는 실제품 제작전에 제품과 동일한 기능을 갖는 prototype을 제작하여 제품의 주요 기능을 시험하거나 핵심부품이나 기능만을 가상의 시스템으로 제작하여 타 부품과의 연동을 통해 전체시스템의 인터페이스를 검증하는 HILS(Hardware in Loop System)기법 등에 활용되고 있다.

이러한 시뮬레이터를 이용한 최근연구로는 기계연구원에서 개발한 6축자동차 운전모사 시스템[1]과 KAIST에서 개발한 6자유도 자전거 시뮬레이터[2-4]등이 있다. 철도분야에도 열차 운전용 시뮬레이터나 종합제어장치(TCMS) 제어시뮬레이터 등이 제작되어 활용되고 있다. 그러나 자동차 시뮬레이터와 같이 철도차량의 동적거동(dynamic behavior)을 모의하고 이에 따른 차량의 거동을 고찰할 수 있는 시뮬레이터는 국내에서 찾아보기 힘들다. 본 논문에서는 철도기술연구개발사업의 일환으로 개발되고 있는 기존선 속도향상을 위한 한국형 틸팅 열차의 동적거동을 모의 할 수 있는 시뮬레이터 제작하기 위한 제작방안과 설계안 대해 기술하고자 한다.

틸팅이란 차량이 곡선부를 주행할 때 차체를 곡선의 안쪽으로 기울이게 하여 곡선부 주행시 발생하는 원심가속도의 횡방향 성분을 중력가속도의 횡방향 성분으로 감쇄시켜 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시키는 기술이다. 차량에 이와 같은 틸팅기술을 적용하면 승차감의 향상뿐만 아니라 곡선부 통과 속도를 증가시킬 수 있게 되어 운행시간 단축, 곡선부 통과시 가감속 빈도의 감소를 통해 에너지 소비를 줄일 수 있게 된다. 이러한 틸팅 기술은 유럽과 일본 등 철도선진국들에서는 자체기술을 확보하고 있지만 국내에는 아직 독자기술을 확보하지 못하고 있다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 비회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

본 연구에서 개발하고자 하는 틸팅 동특성 주행 시뮬레이터의 목적은 실제 틸팅차량 개발이전에 다양한 운행조건하에서의 틸팅 대차에 장착될 차체 틸팅 시스템 및 틸팅 제어알고리즘 평가하고 타 시스템과의 인터페이스 평가 및 틸팅 각속도에 따른 승차감을 평가하는 것이다. 이를 통해 틸팅 시스템의 신뢰성 확보 및 핵심 데이터를 확보하고자 한다. Fig. 1은 시뮬레이터의 개념도를 나타낸 것이다.

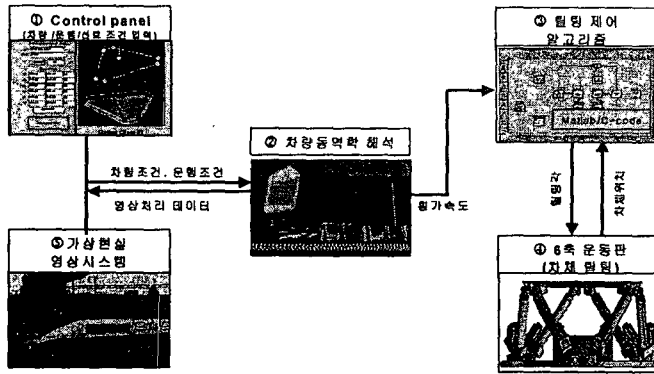


그림 1 틸팅 동특성 주행 시뮬레이터의 개념도.

2. 틸팅 동특성 주행 시뮬레이터의 구성

본 연구에서 설계하고자하는 틸팅차량용 시뮬레이터는 5개의 요소로 구성되어지며 그 구성요소들은 아래와 같다.

- ① 제어판넬(GUI)
- ② 차량 동역학 해석 모듈
- ③ 틸팅 제어부
- ④ 6축 운동판
- ⑤ 가상현실 영상 시스템

각 구성요소들의 기능은 아래와 같다.

2.1 제어판넬

제어판넬은 사용자와 시뮬레이터사이의 인터페이스를 제공하는 부분으로 Visual C++을 이용하여 GUI환경으로 구축할 예정이다. 여기서 구성되는 제어판넬은 시뮬레이터의 임무제어, 차량 정보입력, 선로조건 설정, 차량운행조건 모니터링, 결과저장 등의 기능을 수행하게 되는데 메뉴는 Fig. 2는 시뮬레이터 임무제어를 위한 메뉴로 영상시스템에 출력될 시간, 날씨, 사용자 뷰(View), 운동판 모드, 선로조건 등을 초기에 설정하기 위한 것이다.

Fig. 3은 차량이 운행될 선로조건을 설정하는 메뉴로서 여기서는 현재 개발중인 틸팅 차량이 운행될 실제 노선에 대한 곡선, 캔트, 구배, 터널, 교량 정보 등을 실제와 동일한 조건으로 데이터 베이스화하여 사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 할 것이다. 또한 사용자가 곡선반경, 구배, 캔트 등을 임의로 쉽게 수정하여 원하는 시험 구간을 구성할 수 있도록 할 것이다.

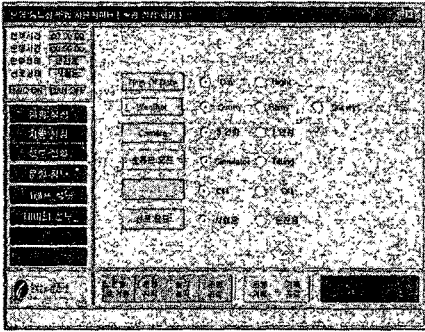


그림 2 시뮬레이터 임무제어 메뉴.

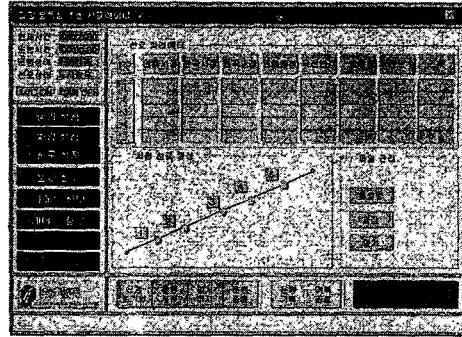


그림 3 선로조건 설정 메뉴.

2.2 차량 동역학 해석부

운동판의 구동과 영상시스템에서 차량의 운동을 실시간으로 구현하기 위해서는 차량의 동적인 정보 즉 변위, 속도, 가속도 등의 정보가 필요하다. 이러한 차량의 동특성은 차량의 동역학 해석을 통해서 계산하게 된다. 본 시뮬레이터의 구동을 위한 차량 동역학 모델은 휠, 대차 및 차체로 구성된다. 그리고 각 구성요소는 강체로 가정한다. 또한 차량의 곡선주행시 캔트, 구배 및 차체의 틸팅을 모사할 수 있도록 휠의 횡 변위와 롤(Roll), 대차의 횡 변위, 수직변위 및 롤, 차체의 횡 변위, 수직변위 및 롤 자유도를 포함하게 된다.

2.3 틸팅 제어부

틸팅 제어부에서는 차량 동역학 해석을 통해서 계산된 차량의 가속도 정보 및 선로조건에서 얻어진 곡선정보를 종합하여 곡선구선에서 차체의 틸팅각을 결정하는 부분이다. 또한 틸팅 제어부에서 결정된 차체가 틸팅각은 차량 동역학 해석에 반영되어 차량의 가속도 정보를 다시 계산하게 된다.

2.4 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 곡선주행시 횡변위(Swaying) 등을 모사할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 조건을 만족시킬 수 있도록 6자유도를 구현할 수 있는 6축 운동판으로 제작할 것이다. 또한 틸팅 차량의 최대 틸팅 각도 8° 및 차체의 롤(roll) 각속도 5°/초 를 모사할 수 있도록 구성된다. 본 연구에서 제작하고자 하는 6축 운동판과 같은 운동판은 실제 열차의 모든 거동을 동일하게 구현하는 것은 불가능하다. 즉 운동판위의 탑승자가 실제 열차 탑승시와 유사한 가속도를 느끼면서 열차에서와 동일한 변위를 동시에 충족시키는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 아래와 같이 이러한 두 부분을 분리하여 두가지 모두를 구현할 수 있도록 할 것이다.

- ① Washout 필터를 적용하여 탑승자의 승차감 극대화 : 여기서는 시뮬레이터 탑승자가 실제 열차에서 느끼는 것과 거의 유사한 횡가속도, 가감속 및 고주파 진동을 느낄 수 있도록 운동판의 액츄에이터들의 미소한 변위만으로 순간적인 가속도 성분만을 구현하게 된다.
- ② 운동판의 변위 모사 극대화 : 이 부분에서는 탑승자의 승차감부분은 배제하고 열차에서 발생하는 변위성분 (롤링, 피칭)등을 실제열차와 동일한 값으로 구현하는 부분이다.

Fig. 4는 본 연구해서 구현하고자 하는 운동판의 형상이고 표 1은 운동판의 운동 및 가속도 범위이다.

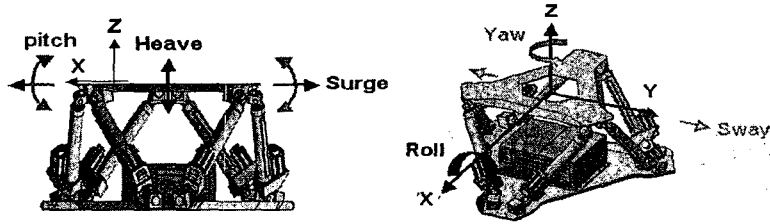


그림 4 운동판의 형상 및 모사가능한 자유도.

표 1 운동판의 모사 범위.

	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	±7.5 [cm] 이상	±40 [cm/s] 이상	0.5 [G] 이상
Surge	±8 [cm] 이상	±40 [cm/s] 이상	0.5 [G] 이상
Sway	±8 [cm] 이상	±40 [cm/s] 이상	0.5 [G] 이상

본 연구에서 구현하고자하는 운동판은 제어의 정확도와 빠른 응답특성을 고려하여 볼 스크류 형태의 전동식 액츄에이터를 적용할 것이다.

2.5 가상현실 영상 시스템

가상현실 영상 시스템은 팀팅 차량이 운행될 실제 구간에 대한 DB와 사용자가 임의의 선로조건을 구축할 수 있도록 설계된다. 또한 선로상의 가상의 환경조건(곡선, 구배, 역, 터널)을 3차원 동영상으로 구현하게 된다. 본 연구에서는 운동판의 운동과 조합하여 탑승자에게 실제감과 몰입감을 제공하기 위해 Fig. 5와 같은 돔 스크린 투사방식을 채용할 것이다. 돔 스크린의 직경은 1600mm이고 반구형상을 좌우 180도 까지 시야를 확보할 수 있다. 3차원 그래픽 이미지의 구현은 OpenGL 라이브러리를 이용하고 1인칭과 3인칭 뷰를 제공하도록 구현된다. 그림 6은 1인칭 뷰와 3인칭 뷰의 영상을 나타낸 것이다.

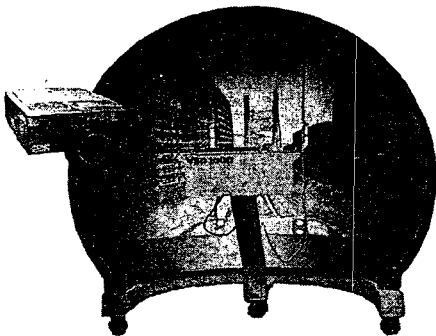


그림 5 돔 스크린 형상.



그림 6 가상현실 영상의 1인칭 및 3인칭 뷰.

3. 시스템의 구성

틸팅 동특성 주행 시뮬레이터의 구성은 Fig. 7과 같다. 그림과 같이 운동판위에 반구형태의 돔 스크린을 설치하여 탑승자의 몰입감을 극대화 하였다. 또한 차량 동역학 결과는 운동판과 영상시스템을 통해서 실시간으로 구현되어야 하므로 각 제어 PC는 Ethernet으로 연결된다.

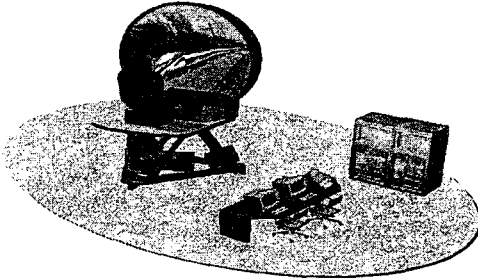


그림 7 시스템의 구성.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 철도기술연구개발사업의 일환으로 개발중인 틸팅 열차의 거동을 모의할 수 있는 틸팅 동특성 주행 시뮬레이터의 설계안에 대해서 기술하였다. 본 설계안을 근거로 실제 틸팅차량 개발이전에 다양한 운행조건하에서의 틸팅 대차에 장착될 차체 틸팅 시스템과, 틸팅 제어알고리즘 평가, 타 시스템과의 인터페이스 평가 및 틸팅 각속도에 따른 승차감 평가 수행 가능한 틸팅 시뮬레이터를 개발 하고자 한다. 또한 이러한 시뮬레이터를 통해 틸팅 시스템의 신뢰성 확보 및 핵심 데이터 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국기계연구원, 자동차 기반기술 확립을 위한 6축 운전모사 시스템 개발, 과학기술처, 2000.
2. 송준걸, 신재철, 이종원, "자전거 주행시 경사 안전성에 대한 실험적 분석," Proceedings of the KSNVE Spring Annual Conference, 안면도, pp. 604-609, May, 2002
3. 신재철, 이종원, "6자유도 자전거 시뮬레이터의 운동장치 제어력을 이용한 운전자의 작용력 추정," Proceedings of the KSNVE Spring Annual Conference, 안면도, pp. 842-847, May, 2002
4. Dong-Soo, Kwon, etal. "KAIST Interactive Bicycle Simulator" Proceedings of ICRA 2001 Conference, Seoul, Korea, May, 2001, pp. 2313-2318.

후 기

본 연구는 철도청 철도기술연구개발사업으로 지원된 "틸팅시스템 실용기술개발"과제의 연구결과의 일부입니다.