

틸팅 시뮬레이터의 운동판 설계에 관한 연구

송용수, 김정석, 이수길, 한성호
한국 철도 기술 연구원

Development for Motion Evaluation of Tilting Simulator

Song YongSoo, Kim Jung-suk, Lee Su-gil, Han Seong-Ho
Korea Railroad Research Institute

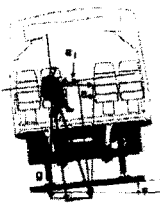
Abstract - This paper describes the construction of a half sphere screen driving tilting simulator that can perform six degree-of-freedom(DOF) motions simulator to a tilting train. The mathematical equations of Tilting Train dynamics are first derived from the 6-DOF bicycle model and incorporated with the bogie, carbody, and suspension subsystems. The equations of motion are then programmed by visual C++ code.

To achieve the simulator functions, a motion platform that is constructed by six electric-driven actuators is designed, and its kinetics/inverse kinetics analysis is also conducted. Driver operation signals such as carbody angle, accelerator, and tilting positions are measured to trigger the Tilting dynamics calculation and further actuate the cylinders by the motion platform control program. In addition, a digital PID controller is added to achieve the stable and accurate displacements of the motion platform. The experiments prove that the designed simulator is adequate in performing some special rail road driving situations discussed in this paper.

1. 서 론

틸팅이란 차량이 곡선부를 주행할 때 차체를 곡선의 내측으로 기울이게 하여 곡선부 주행시 발생하는 중력 가속도의 횡방향 성분을 중력가속도의 횡방향 성분으로 감소시켜 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시키는 기술이다.

일반차량



$$a_t = a_c -$$

틸팅차량



$$a_t = a_c - (+)$$

철도차량에 이와 같은 틸팅기술을 적용하면 승차감의 향상뿐만 아니라 곡선부 통과속도를 증가시킬 수 있다. 이에 따라 운행시간 단축, 곡선부 통과 시 가감속 빈도의 감소를 통해 에너지 소비를 줄일 수 있게 된다. 이러한 틸팅 기술은 유럽과 일본 등 철도선진국들에서는 자체 기술을 확보 하고 있지만 국내에는 아직 독자 기술을 확보하지 못하고 이는 것이 현실이다. 현재 한국 철도 기술연구원에서는 180km/h급 틸팅 열차를 개발하고 있다. 이에 선행 연구로 틸팅 시스템의 신뢰성과 안정성

을 확보하고 제어 알고리즘의 적용을 실험 하기위해 틸팅 차량 모의 장치를 개발 중이다. 이 연구에 앞서 본 논문에서는 틸팅 시뮬레이션에 이용되는 운동판의 모션과 전기적 액츄에이터의 용량에 선정에 대해 연구해 보았다.

2. 본 론

2.1 틸팅 시뮬레이터의 기술사양

가상 현실 영상 시스템에서 가상의 환경조건(Track condition, speed, curve, etc.)을 구성하고, 환경조건에 따라 틸팅 시뮬레이터가 움직일 수 있도록 시뮬레이터 제어 시스템(Simulation Control System)에서 실시간으로 틸팅차량 시뮬링크 운동 모델을 수행 및 계산하고, 동시에 3차원 영상처리 위한 동역학정보를 산출하여 영상처리기로 실시간 동적정보를 전달하도록 설계 하였다. 또한, 추후에 예상되는 시스템 확장 및 개편이 용이하게 설계 되었다.

2.1.1 시뮬레이션 제어 시스템의 기능

- 1) MATLAB Simulink로 설계된 틸팅차량 운동 모델을 실시간 계산 수행
- 2) 가상현실 시뮬레이터 영상시스템의 실시간 가상 환경조건 계산 또는 입력
- 3) 레일의 상태에 따른 구동기(Actuator)의 작동 범위 계산
- 4) 안정화된 승차감을 확보하기위한 틸팅 시뮬레이터 제어
- 5) 열차 상태 및 틸팅 상태 실시간 모니터링
- 6) 모션 베이스와 실시간 인터페이스
- 7) 센서로부터 데이터 획득
- 8) 3차원 영상처리기와 실시간 인터페이스
- 9) 실제 틸팅 시스템과 실시간 인터페이스
- 10) 추후에 장착될 수 있는 Tilting Actuator에 부하되는 하중 계산과 Tilting Actuator에 부하를 가하는 서보모터 제어에 대한 확장용의 하도록 제작 되었다.

2.1.2 시뮬레이션 제어 시스템의 설계 조건

Matlab simulink block으로 구성된 틸팅차량 운동 모델의 파라미터를 실시간으로 수정되어야 하고 시뮬레이터 제어 시스템은 Real Time으로 구동되어야 하며 실시간 모델의 안정성을 위하여 하드웨어적인 다이머 인터럽트에 의해 수행되어야 한다. 또한 틸팅차량 운동 모델링의 검정을 위해 샘플링 시간이 100Hz부터 10000Hz 까지 수정이 가능해야 한다.

System 각 구성요소 간 I/O

- ▷ 실제 틸팅 시스템에 사용되는 CAN통신이 가능해야 한다.
- ▷ 다양한 외부 장치와 연결할 수 있는 Serial 통신이 가능해야 한다.

▷ 다양한 Sensor 입력 값을 받을 수 있는 A/D, D/A 입출력이 가능해야 한다.

- Digital I/O

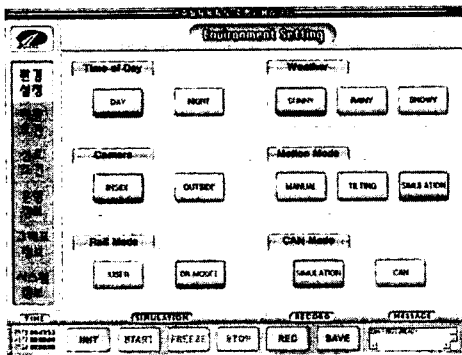
▷ 센서입력으로부터 데이터 획득이 가능해야 한다.
▷ 센서 상태 설정 및 변화의 모니터링이 가능해야 한다.

▷ 상태 설정이나 계인 값 실시간 상태에서 수정 가능해야 한다.

2.2 시뮬레이터 제어 시스템의 기능수행을 위한 소프트웨어 설계조건

2.2.1 RTI (Real-Time Interface)

- Matlab Simulink 와 Stateflow model들을 하드웨어에 접목시켜주는 기능을 한다. 하드웨어 I/O를 연결시켜주기 위해 쉬운 Graphic Tool로 구성, 자동적으로 C code를 생성한다.



2.2.2 I/O 형태

- 하드웨어 특성에 맞게 설정 가능한 포괄적인 블록 라이브러리로 구성되어 있어 향후 업그레이드 및 수정이 용의하다.

- Simulink 모델에서 대응되는 블록들의 연결로 I/O구성하고 있다.

- I/O 파라미터 하드웨어 설정

- 1) Voltage range
- 2) Digital I/O
- 3) Resolution
- 4) Serial interface parameter
- 5) PWM frequency

- 서로 다른 샘플기간이나 비동기화 및 하드웨어 인터럽트에 의한 I/O 동작 가능하며 복합된 I/O에 다른 기능들을 분리된 블록으로 사용했으며 S-function과 사용자 작성 C code를 사용했다.

2.2.3 Real Time code 생성

- RTW(Real-Time Workshop)과 RTI(Real-Time Interface)에 의한 C code 생성한다. Real-Time 수행에서는 오브젝트 C code의 최적화를 통해 시뮬레이터의 디터링 속도를 증가 시켰으며 RTW code 최적화를 지원하도록 설계 하였다. Compiler는 Microtec PowerPC Cross Compiler를 사용했으며 PowerPC에 맞는 실행 Object 생성하였고 ControlDesk는 실시간 실험에서 알고리즘을 제어함과 동시에 모니터링할 수 있는 tool을 사용했고 다음과 같은 기능은 지닌다..

- Simulink를 제어하고 실시간 시뮬레이션
- 하드웨어를 쉽게 조작 가능한 형태로 구성 Experiment management로 체계적인 데이터 저장 C code 편집기 지원

2.3 시뮬레이터 제어 시스템의 기능수행을 위한

하드웨어 설계조건

2.3.1 프로세서 보드

- 프로세서

- ▷ PowerPC 450 MHz
- ▷ 12.5 SPECint95
- ▷ 21.5 SPECint95

- 메모리

- ▷ 16 MByte flash memory

- 타이머/인터럽트

- ▷ General-purpose timers 2개
- ▷ Multi processor unit에서 time base 동기화
- ▷ Interrupt sources 18개

- 시리얼 인터페이스

- ▷ RS232 interface with standard UART

2.3.2 멀티 I/O 보드

- 아날로그 Input

- ▷ A/D 20 channels (12 bit)
- ▷ A/D conversion time : 30 μ s
- ▷ ± 10 V input voltage range

- 아날로그 Output

- ▷ D/A 8 channels (12 bit)
- ▷ 전체 6 μ s typical settling time
- ▷ ± 10 V output voltage range

- 디지털 I/O

- ▷ 16 digital I/O lines
- ▷ PWM generation 6 channels
- ▷ PWM frequency : 1 MHz
- ▷ Resolution : 40 ns

2.3.3 시리얼 인터페이스 보드

- 시리얼 통신 채널

- ▷ RS232 transceiver 4 channels
- ▷ RS422 and RS485 transceivers 설정 가능
- ▷ Clock source : 24 MHz
- ▷ 보드레이트 설정 가능
- ▷ 16 byte 송/수신 FIFO 포함
- ▷ Parity bit 설정 가능
- ▷ Stop bit 설정 가능

2.3.4 CAN 인터페이스 보드

- ▷ 4 CAN controller
- ▷ 3 CAN transceivers per controller
- ▷ Various interrupt sources

추후에 계산 수행 능력의 확장성이 용이하도록 멀티프로세서 시스템(Multiprocessor System)이 사용 해서 다양한 I/O Port 추가가 용의하다.

2.4 6축 운동판

틸팅 시뮬레이터의 운동판은 틸팅 차량의 실제 운동운모사하는 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.

2.4.1 모션 베이스 성능요구조건

1) 운동 범위

평균 틸팅 각도가 8° 이므로 최소 18° 이상의 롤 방향 운동과 열차의 감/가속을 구현하기 위하여 18° 이상의 피치 운동이 필요하다.

2) 진동 및 설계감진동

레일에서 열차 바닥으로 전달되는 미세 진동을 구현하기 위해서 20Hz 이상의 대역폭(Bandwidth) 반응

을 보인다. 이는 정지해 있는 시뮬레이터에서 영상 장치와 함께 탑승자가 실제감을 느낄 수 있는 중요한 요인이 된다.

실제감

코너를 돌 때의 실제감을 구현하기 위하여 롤 방향 $\pm 600^\circ/\text{sec}^2$ 의 가속도를 구현할 수 있고, 종 방향 최대 가속도인 $1.0\text{m}/\text{s}^2$ 를 구현하기 위해서 $\pm 500^\circ/\text{sec}^2$ 의 가속도를 구현 할 수 있다.

3) 곡선부 승차감

차량은 곡선 진/출입 및 곡선궤도 주행 시 승객에게 불쾌한 진동이 발생되지 않도록 하여야 한다. 튜팅 차량의 곡선통과속도로 주행 시 차체의 정상 횡가속도는 0.8% 이하이며, 차체의 롤(roll) 각속도는 $5^\circ/\text{초}$ 이하이다.

4) 모터 및 입력

깨끗한 환경과 저 소음을 위하여 전기식 모터를 이용해야 한다. 입력은 1상 200-250V AC 60Hz 사용한다.

따라서 이러한 조건을 만족시킬 수 있도록 6축 운동판으로 제작하였다. 그림 6은 본 연구에서 구현하고자 하는 운동판의 형상이고 표 1은 운동판의 운동 및 가속도 범위이다.

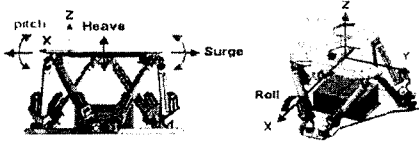


그림 6. 튜팅주행시뮬레이터 6축 자유도베이스

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

표 1. 모션베이스 자유도

	Range	Velocity	Acceleration
Pitch	$\pm 18^\circ$ 이상	$\pm 30^\circ/\text{s}$ 이상	$\pm 300^\circ/\text{s}^2$ 이상
Roll	$\pm 15^\circ$ 이상	$\pm 30^\circ/\text{s}$ 이상	$\pm 300^\circ/\text{s}^2$ 이상
Yaw	$\pm 18^\circ$ 이상	$\pm 30^\circ/\text{s}$ 이상	$\pm 300^\circ/\text{s}^2$ 이상
Heave	$\pm 7.5\text{cm}$ 이상	$\pm 40\text{cm}/\text{s}$ 이상	0.5G 이상
Surge	$\pm 8\text{cm}$ 이상	$\pm 40\text{cm}/\text{s}$ 이상	0.5G 이상
Sway	$\pm 8\text{cm}$ 이상	$\pm 40\text{cm}/\text{s}$ 이상	0.5G 이상

2.5 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 1인칭과 3인칭 뷰를 제공하도록 구현된다.

동영상 구현은 Controller Board로부터 데이터 획득하고 Host PC 또는 분리된 PC에서 수행이 요구됨에 따라 Motion data를 File Base 기록과 인산치리 하고 3차원 좌표계 변환해서 Simulink Block에 입력값을 넣는 방식으로 설계 되었다.

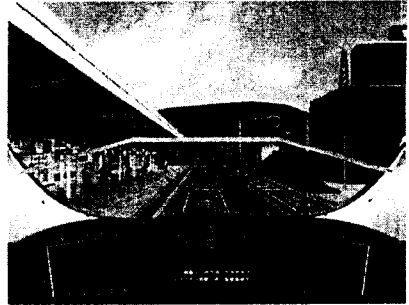


그림 7. 튜팅주행시뮬레이터 영상그래픽 운영화면

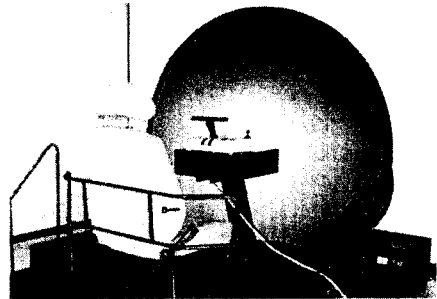


그림 8. 튜팅주행시뮬레이터 돔스크린 화면

3. 결 론

본 연구를 통해서 튜팅제어의 성능을 검증할 수 있는 튜팅 제어 시뮬레이터에 기본이 되는 운동 판 및 하드웨어 및 소프트웨어 개발을 연구 하였다. 본 시뮬레이터를 이용하여 튜팅 제어 장치의 인터페이스 조합 시험과 기능 시험, 특히 튜팅제어 알고리즘의 개발 및 검증을 수행 할 수 있다. 향후, Matlab등 시뮬레이션 전용툴과의 연계를 통한 다양한 튜팅제어 모델의 구현과 시뮬레이터 연구가 가능하도록 확장 연구할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] [1] Vijay K. Garg 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. B 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, 최자명, "논문게북", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도