

철도차량 운전자교육을 위한 훈련용 시뮬레이터의 설계

Design of Train Driving Simulator

이지선*

Lee, Ji-Sun

박성호**

Park, Sung-Ho

최종목***

Choi, Jong-Muk

ABSTRACT

As the high performance computer system increases, improving of reality and usefulness causes the virtual environment of simulator to be used widely as training and assessment tool. Although some domestic companies have developed train driving simulators since about mid of 1990s, accumulation of technology and experience is not yet sufficient compared to foreign makers. This paper describes system composition, training and assessment regimes for high level train driving simulator. When the subsystems are designed, comprehension of train system is emphasized and the functions that simulator should provide are discussed.

1. 서 론

시뮬레이터를 통한 훈련은 간편성, 안전성과 같은 장점으로 인해 방위산업뿐 아니라 운송산업 분야에서 많이 보급되어 활용되고 있으며 철도차량에 있어서도 시뮬레이터는 훈련장비로서 활발히 사용되고 있다. 국내에서는 처음에 외국의 제품을 사용하다가 90년대 중반부터 몇몇 업체에서 철도차량용 시뮬레이터를 독자적으로 개발해 공급해 오고 있으나 아직 기술과 경험의 축적이 부족한 실정이다. 철도차량은 제작사의 고유모델이 정해져 있는 것이 아니고 발주처의 요구사항을 기준으로 매번 제작되기 때문에 전 세계적으로 통용되는 모델이 있을 수 없으며 따라서 차량의 형태 및 운전방법이 매년 달라진다. 또한 다른 운송 수단과는 달리 정하여진 Track상으로만 주행이 가능하며 지상 신호 체계와 밀접한 관련이 있다는 특징이 있다. 따라서 철도차량 훈련용 시뮬레이터는 운전자를 국가 또는 지역별로 특성화된 환경조건과 새롭게 제작되는 차량에 적응시키는 교육을 해야 할 때 매우 효과적이고 안전한 훈련도구로서, 일반 운전기능뿐만 아니라 고장 대처, 정위치 정차, 출입문 개폐, 통신시스템 운용 훈련 등의 실시가 가능하다. 본 논문에서는 (주)로템이 최근에 개발하고 있는 시리아 디젤동차용 Full-Scale Simulator를 설계한 경험을 바탕으로

* (주)로템 기술연구소 주임연구원, 비회원

** (주)로템 기술연구소 책임연구원, 정회원

*** (주)로템 기술연구소 수석연구원, 정회원

훈련용 시뮬레이터에서 고려해야 될 중요한 요소를 각 서브시스템별로 살펴보고 효과적인 교육을 위해 시뮬레이터가 갖춰야 할 기능에 대해 논의한다. 그림 1에서 시리아 DMU 시뮬레이터의 기본 구성을 나타내고 있다. 리눅스 기반의 영상 컴퓨터, 시뮬레이션 컴퓨터, I/O 컴퓨터와 신호 입출력을 위한 I/O board가 네트워크로 연결된 구조로 이루어져 있고 현실감 향상을 위해 6DOF 모션시스템이 구비되어 있다.

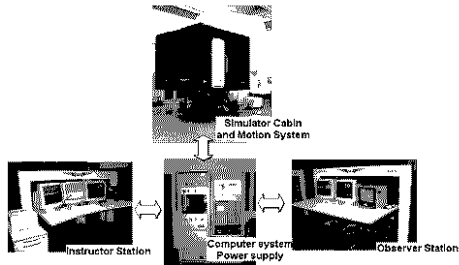


그림 1. Syria DMU 시스템 구성

2. Cabin

Cabin은 운전자가 탑승하는 부분이다(그림2). 크게 각종 계기류가 설치되어 있는 운전대(control desk)와 그 외의 부분으로 나눌 수 있다. 운전대에는 많은 종류의 진장품이 구성되어 있는데 차량의 종류와 발주처의 요구조건에 따라 그 구성이 달라진다. 재질은 FRP이며 각종 스위치류와 Lamp류, Buzzer, Lever류 등이 설치되어 있고 통신관련 진장품과 신호관련 진장품이 추가된다. 운전대는 훈련 효과를 최대로 하기 위해 실차와 동일하게 제작되어야 하며 각 기기는 운전상황에 따라 적절히 반응하여야 한다. 기계부품과 물리적으로 연동되어 작동하는 장치가 없으므로 항공기와 자동차 시뮬레이터에서 중요시 여겨지는 CFLS(Control Force Loading System)가 필요치 않다. 각 기기의 접점은 I/O system과 전기적으로 연결되어 있어서 시뮬레이션 컴퓨터가 감시 및 제어를 할 수 있다. 단, 공감게이지의 경우는 실제 증압의 이용이 어려우므로 적절히 게이지를 변형해서 전기적인 신호로 구동할 수 있게 하였다.



그림2. 운전대(예)

한편, 운전대를 실제한 배 시로 다른 차량을 동일한 시뮬레이터에서 훈련이 가능하도록 하기 위한 방법으로 계기판에 터치스크린 LCD 모니터를 설치하고 계기들을 유사하게 그래픽으로 표현하는 방법이 사용되기도 한다. 다른 차량용으로 시뮬레이터를 제조하기 위해서 운전대와 배선은 모두 바뀌어야 하는 경우와 비교한 때 소프트웨어적으로 화면 표시만 바꾸면 되므로 매우 경제적이지만 현실감이 떨어지는 문제가 있다.

운전실에는 운전대와 이를 위한 배전반이 필요하다. 배전반에는 차량을 제어하기 위한 전기 제어 부품이 포함되어 있으며, 구성은 차단기, 과전, 지시계 및 보조, 과전, 전자제어모듈, 계전기, 과전 등으로 이루어져 있고 운전대의 기기들과 밀접하게 연결되어 있다. 시뮬레이터에서 배전반은 실제로 설치하지 않고 각 기기의 동작에 의해 발생하는 상황에 대해서는 실제 차량의 실제 사양은 변형하 검토하여 I/O 컴퓨터에서 소프트웨어적으로 구현하였다.

전면에는 1 channel cylindrical screen은 Cabin과 일체화해서 설치하였고 1 mirror를 사용하였다 (그림3). 모션시스템에 Cabin이 올라가므로 영상시스템과의 통합 설치시 무게 및 관성을 고려해서 설계하였다. Cabin의 최대 프레임과 하중은 모션 구동시 견딜수 있도록 충분한 강성을 확보하였다.

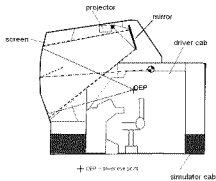


그림 3. 스크린 및 프로젝터의 구성

3. Instructor Station/ Observer Station

3.1 Instructor Station

교관실에서 교관은 소프트웨어를 통해 시뮬레이터의 모든 기능을 제어할 수 있다. 훈련 상황을 준비, 선택하고 열차의 구성, 출발 위치, 주행 루트, 날씨 정보등과 Signal의 위치 및 상태를 지정할 수 있다. Track의 배치 및 Signal의 상태는 주행시 매우 중요하기 때문에 항상 교관이 컴퓨터 화면을 통해 주행 상태를 지속적으로 관찰할 수 있도록 GUI 환경의 MMI를 제공한다. 훈련이 종료된 후에는 훈련 평가가 이루어진다. 또한 각종 교장 및 이벤트를 발생시켜 운전자가 대응하는 훈련을 할 수 있는 기능을 제공한다. 본 프로젝트에서는 교관석과 별도로 Database generation station을 설치하여 교관이 전용 소프트웨어에서 데이터베이스를 편집할 수 있도록 지원한다.

3.2 Observer Station

훈련 대기생들이 Cabin에서 훈련중인 훈련생의 모습과 시뮬레이터 상태를 보면서 훈련준비 및 모니터링을 할 수 있는 장소이다. 전방 영상 CGI 모니터와 Cab의 각종 계기를 연시하는 모니터, CCTV 카메라 모니터가 설치되고 스피커를 통해서도 주행 음향과 통신상태를 모니터링할 수 있다.

4. 동역학 및 Vehicle Logic

시뮬레이터에서 동역학은 차량의 속도나 휠/레일 마찰운동등 차량의 물리적 운동 상태를 계산해 내는 부분이며 Vehicle Logic은 차량의 상태와 운전자의 조작상태에 따른 각종 표시기 및 장치의 반응을 알아내는 부분이다.

차량의 동역학 모델은 Track의 지형 정보와 운전자의 운행 조작 정보를 받아서 차량모델 방정식을 계산한 후 다시 그래픽 엔진과 모션 시스템에 다음 step의 차량의 위치 정보를 전달한다. 또한 적절한 음향 효과를 위해 음향 시스템으로 필요한 정보를 전달하는 역할을 한다. 따라서 동역학 모델은 다른 서브시스템과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 잘못된 모델은 시뮬레이터 전체 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 특히 서브시스템의 통합시 가속, 감속과 같은 현실감 측면의 tuning이 주로 동역학을 통해 이루어지는데 이때 동역학 모델이 충실하지 않으면 서로 얽혀있는 서브시스템간의 연결관계로 인해 tuning이 용이하지 않는 문제가 발생한다. 시뮬레이터를 위한 차량 모델은 실시간 시뮬레이션이 가능해야 하고 다른 서브 시스템과의 원활한 데이터 교환이 가능해야 하는 제약조건이 있기 때문에 일반적인 해석용 모델과는 다른 구성이 요구된다. 실시간 시뮬레이션 모델은 lumped parameter로 이루어진 단순화된 수학적 모델이나 multibody model과 같이 좀더 정확한 시뮬레이션의 위한 모델이 사용된다. 시리아 DMU 시뮬레이터에서는 multibody modeling 기법을 적용하여 동역학 모델링을 했으며 각 장치의 사양서와 전기도면을 토대로 Vehicle Logic을 수립하여 다음과 같은 차량 상태의 시뮬레이션이 가능하도록 프로그램 하였다.

- 차량 하중변동 및 날씨조건에 따른 동특성
- 휠-레일 접촉면의 마찰특성 반영
- 차량 제어 전장품의 내부 제어로직 반영
- 엔진 및 브레이크 시스템 동특성
- 공압 시스템 동특성
- 회로 차단기, 스위치, 펌프류 등의 전기 시스템 시퀀스 로직
- 임의로 발생하는 교장 상황에 대한 시뮬레이션
- Communication 장치 시뮬레이션

5. 영상/음향/모션 시스템

5.1 영상 시스템

영상시스템 컴퓨터는 PC에 고성능 그래픽 카드를 사용하여 해상도 1280x1024에 60Hz의 프레임

경신율을 구현하였다. 프로젝터는 DLP 타입을 사용하였고 FOV 60°x40°의 cylindrical 스크린이 Cabin의 전두부에 설치된다. 철도차량 영상 시스템의 설계에 있어 특이한 점은 차량은 레일을 주행하기 때문에 운전석에서 바라보는 전방 영상의 시점은 변하지 않는다는 것이다. 즉 특정 레일의 위치 데이터에서 바라보는 전방 영상의 1:1 매치가 가능하다. 그래서 열차 주행시 운전석에서 바라보는 실사 영상의 촬영 데이터를 후처리과정을 거쳐 경지압축영상으로 변환하여 저장한 후에 시뮬레이터에서 열차의 위치를 계산하여 해당되는 영상을 화면에 영사하는 방법도 시도되고 있다[2]. 이 방법은 일반 3D CGI를 제작하는 방법에 비해 영상의 제작기간이 짧고 비용이 절감된다고 알려져 있으나 반면에 영상의 3D 데이터가 없으므로 해서 영상의 편집이 어렵고 그래픽 엔진에서 영상 기능의 추가를 필요로 할 때 작업성이 떨어지는 문제가 있어 본 연구에서는 시리아 현지에서 촬영한 Track 및 역사를 바탕으로 약 100km 구간의 3D CGI를 구현하였다.

한편 현실감 향상을 위해서 교행 열차 또는 플랫폼에서 사람의 움직임을 애니메이션으로 구현해 줄 수 있으며, 본 연구에서는 생략되었으나 역에 정차했을 때 운전사의 side mirror 영상을 시뮬레이션하는 side view 영상모니터를 설치하여 플랫폼 표정을 살펴보는 훈련이 가능한 시스템의 설치도 고려해 볼 수 있다.

5.2. 음향 시스템

4개의 스피커와 1개의 앰프, 서브우퍼가 Cab안에 설치되어 음향효과를 발생한다. 엔진소음, 공기제동, 휠노이즈 등의 주행소음 외에 방송장치(Public Address Unit) 음향이 미리 녹음되어 구현된다.

5.3. 모션 시스템

모션시스템은 Cabin의 부체를 고려하여 Payload 2.8ton의 FCS사 6자유도 전기식 모션플랫폼을 사용하기로 하였다(표1).

표 1. 모션플랫폼 구동 성능

DOF	Excursion (single DOF)	Excursion (kinematic limits)	Velocity	Acceleration
Surge	-0.46 / 0.36 m	-0.51 / 0.48 m	±0.60 m/s	±7.0 m/s ²
Sway	±0.37 m	± 0.55 m	±0.60 m/s	±7.0 m/s ²
Heave	-0.30 / 0.35 m	-0.30 / 0.35 m	±0.50 m/s	±7.0 m/s ²
Roll	±19°	± 24.5	±30 °/s	>140 °/s ²
Pitch	±19°	± 25.4	±30 °/s	>140 °/s ²
Yaw	±21°	± 23.7	±30 °/s	>140 °/s ²

고성능의 모션시스템 성능을 보충하기 위한 핵심은 빠른 응답성과 저속조건에서 모터의 진동을 최대한 억제하는 기술이다. 또 안전사고를 대비하여 충분한 안전장치가 구비되어야 하는데 돌발적인 전원 차단이나 에러발생에 대처할 수 있는 안전시스템을 구비하고 있어야 한다. 철도차량의 운동특성을 보

면 부체가 무겁기 때문에 가속/감속이 급격하지 않아 Surge가 자주 발생하지 않는다. Sway는 커브나 포인트 또는 트랙의 irregularity에 의해 발생한다. Heave도 마찬가지로지만 가속도값이 매우 작기 때문에 수 cm의 운동으로도 모사가 가능하다. Roll은 커브시 지속적인 lateral acceleration이 발생할 때 필요하다. Pitch는 실제 철도차량에서는 거의 일어나지 않는 운동이지만 지속적인 가속속 운동시에는 필요하다. Yaw는 아무리 차량이 급격한 커브를 통과하더라도 그 값이 사람이 느끼기에 매우 작기 때문에 철도차량 시뮬레이터에서는 구현이 불필요하다.

실제 차량의 운동을 제한된 workspace의 모션플랫폼에서 구현하기 위해서는 동역학에서 오는 차량의 운동값을 Wash-out 알고리즘을 통해 데이터를 가공해야 한다. 그리고 다시 모션플랫폼의 Inverse kinematics를 계산하여 실제로 모터를 구동하는 과정을 거치게 된다. 기본적인 모션시스템의 운동은 동역학 시뮬레이션에서 데이터를 전달받아 구현하고 여기에 주행시 Rail의 irregularity에 의한 차량의 불규칙적 진동은 별도로 운동신호를 추가하는 방법으로 현실감을 향상시킨다.

6. 결 론

본 연구에서는 현재 개발중인 시리아 DMU 훈련용 시뮬레이터의 제작을 위해 시스템 설계를 수행한 결과를 토대로 시스템을 서브시스템 별로 정리하여 철도차량의 특색에 알맞은 설계사양을 제시하였다. 향후에는 본 설계 결과를 바탕으로 하드웨어를 제작하는 동시에 실제 차량시스템을 정밀하게 분석하여 시뮬레이션에 반영하고 현장에 설치하여 통합을 완료할 예정이다.

참고문헌

1. 고속전철기술개발사업 1차연도 연구보고서(1997), "고속전철 동역학적 설계 및 해석기술 개발"
2. 김봉택, 최성(1999), "철도차량 시뮬레이터의 디지털 영상제어 시스템 연구", 한국철도학회 추계 학술대회 논문집