

전동차 모의운전 시뮬레이터에 관한 연구

A study on the driver training simulator for train

김 봉택

최 성

Kim, Bong-Tack

Choi, sung

샬롬엔지니어링㈜

남서울대학교 컴퓨터학과

Shalom engineering co.,ltd

Namseoul University

요 약

전동차 시뮬레이터는 제한된 공간상에서 영상 및 음향, 운동, 운전석에 있는 각종 계기와 모니터 시스템들을 이용해 운전자에게 실제 주행하고 있다는 현실감을 제공하는 일종의 가상현실 장비이다. 시뮬레이터의 유효성은 각종 차량 특성과 운전조건 변화에 대해 CAB 상의 승무원에게 실제에서 경험할 수 있는 각종 주행환경을 제공하는 데 있다. 주행 현실감을 확보하기 위해서는 CAB 승무원에게 소리, 영상, 운동, 촉각 신호 등과 같은 큐(Cue)를 현실적으로 제공해야 한다. 대부분의 큐는 운전자의 조작 명령에 반응하는 차량의 동특성 해석을 통해 결정되어 시각, 음향, 모니터 등에 제공된다. 그러므로, 시뮬레이터 운용에 있어서 핵심적인 위치를 차지하고 있는 실시간 전동차 시뮬레이션 시스템의 전동차 모델은 차량의 운동을 현실적으로 모사할 수 있어야 하며, 실시간으로 시뮬레이션 되어야 하는 서로 상충되는 조건을 만족시켜야 한다. 실시간 전동차 시뮬레이션을 수행하기 위해서 특히 공학적으로 검토되어야 할 요소는 전동차 모델의 적절성, 적분기법, 운용 소프트웨어 및 실시간 시뮬레이션용 컴퓨터 등에 관하여 연구하였다.

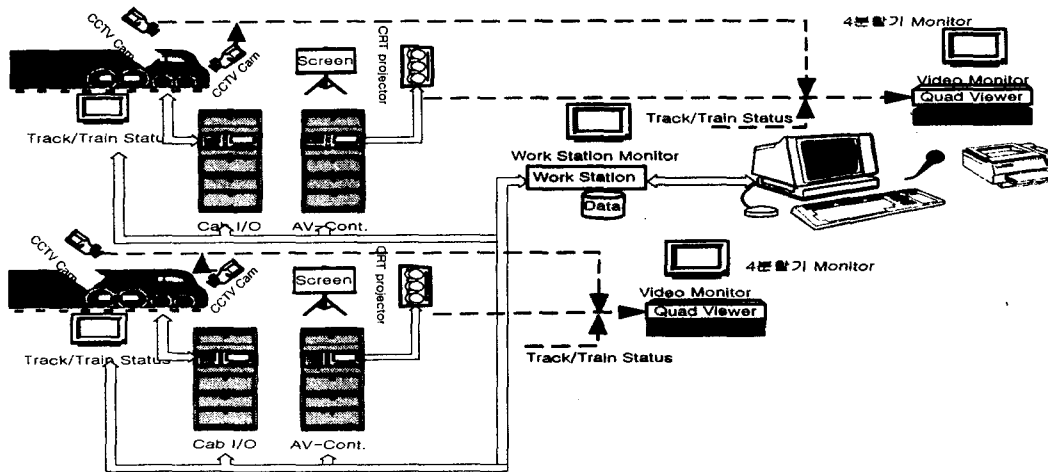
1. 전동차 모의운전 연습의 정의

모의운전 연습기(Driver training simulator)는 전동차의 특성을 논리적으로 모델링(Modeling)하여 실제 전동차를 대신하여 운전자를 교육시키고 평가하는 교육장비라고 정의하며, 중요한 모든 전동차의 특성을 소프트웨어적으로 논리, 가공화하여 전동차의 운행 특성을 주컴퓨터 시스템에 내장(Built in)하고 Malfunction 및 돌발적 현상 등의 기능도 논리적으로 구현된다. 운전실 장비도 현실감각을 주기 위하여 실 장비의 모의적인 구현을 하고 있으며, 교육평가를 위한 수치적 평가(점수관리)의 교육 알고리즘(Algorithm)도 내장된다. 이러한 교육장비는 열차 및 전동차의 운전과 교육의 핵심적 수단으로 활용한다. 모의운전 연습기의 기본 목적은 운전교육, 응급조치 기능 교육 및 실제의 전동차에서 구현이 어려운 교육 훈련 등의 복합된 기능의 구현에 있다. 또한 교육 결과의 수치화를 추구하여 운전과 응급조치 능력 평가에 과학적인 데이터를 제공할 수 있으며 교육결과의 재

평가 방법으로 재현(Replay) 개념을 적용할 수 있어 교육 결과 분석의 근거 자료를 제공한다. 또한 환경 변화의 자유자재한 모의 조작을 통한 특수 환경 상황에 대한 적응 훈련/교육도 실시할 수 있다.

2. 모의운전 연습기 시스템 구성(System Configuration)

모의운전 연습기의 전체 시스템 구성은 그림 1 과 같으며, 정지형(Static) 모의 운전 연습



(그림 1 : 전체 시스템 구성도)

기로 1 대의 교관 Console 과 2 대의 운전실로 구성된다. 시스템의 운영 방식은 교관대(Console)에서 같은 교육 시나리오로 2 대의 운전실의 학생을 동시에 교육하는 방식과 다른 시나리오로 독립적으로 교육하도록 구성하였다. 표준 설정은 다른 1 대의 운전실은 상행에 설정하고 1 대의 운전실은 하행을 설정, 운영하도록 구성한다. 필요에 따라 같은 교육 시나리오의 동시 교육 목적으로 변경 운영이 가능하다. 교육 운영 방식은 교관에 의한, 컴퓨터에 명령삽입(Teach-In) 방식을 채택한다. 시스템 구성은 각 운전실에 CAB I/O Cabinet 과 Audio/Visual Cabinet 가 연결되고, 각 운전실에 공동으로 Simulation 을 위한 주 컴퓨터(Main Computer)와 교관대로 구성되어 있다. 운전실의 입출력 명령은 CAB I/O Cabinet 을 통하여 주 컴퓨터와 연결되어 있고, Audio/Visual Cabinet 은 주 컴퓨터와 영상 Projector 및 운전실 스피커에 연결된다. 각 운전실에는 교육생의 교육 모습을 교관이 직접 볼 수 있도록 운전실 전후방에 각각 CCTV 카메라가 장착되어 있으며 교관대의 모니터 시스템과 연결된다. 운전실의 방송, 무선 장비는 개조하여 유선으로 교관대와 연결되며, 그 기능을 모의적으로 구현한다.

2.1 운전실

실제 크기의 운전실과 주간 제어기, 각종 계기류, 램프, 스위치가 포함된 전장품으로 구성되며, 모의 TIDK 및 MMI 가 내장된다. 음향효과를 위하여 스피커를 구동하는 A/V Cabinet 와 연동되고 있으며 교육생의 동작 상태를 확인하기 위하여 전, 후면에 CCTV 카

메라가 장착된다. 교육생에게 궤도와 전동차 운행특성을 알려주기 위하여 궤도/전동차 정보 모니터(Track/Train Status Monitor)가 설치된다. 각종 NFB가 운전석 후방 벽면에 설치되어, 임의로 설정된 고장에 대한 응급 조치를 운전실에서 할 수 있도록 구성된다. 운전실 장비의 모든 배선은 별도 설치된 단자대(Terminal Board)를 통해 CAB I/O 시스템에 연결되어 유지/보수의 용이성을 갖는다. 운전실 전방에는 스크린이 설치되어 있어 운행 궤도와 신호를 보여주고 돌발 상황에 대한 영상도 나타난다.

2.2. CAB I/O Cabinet

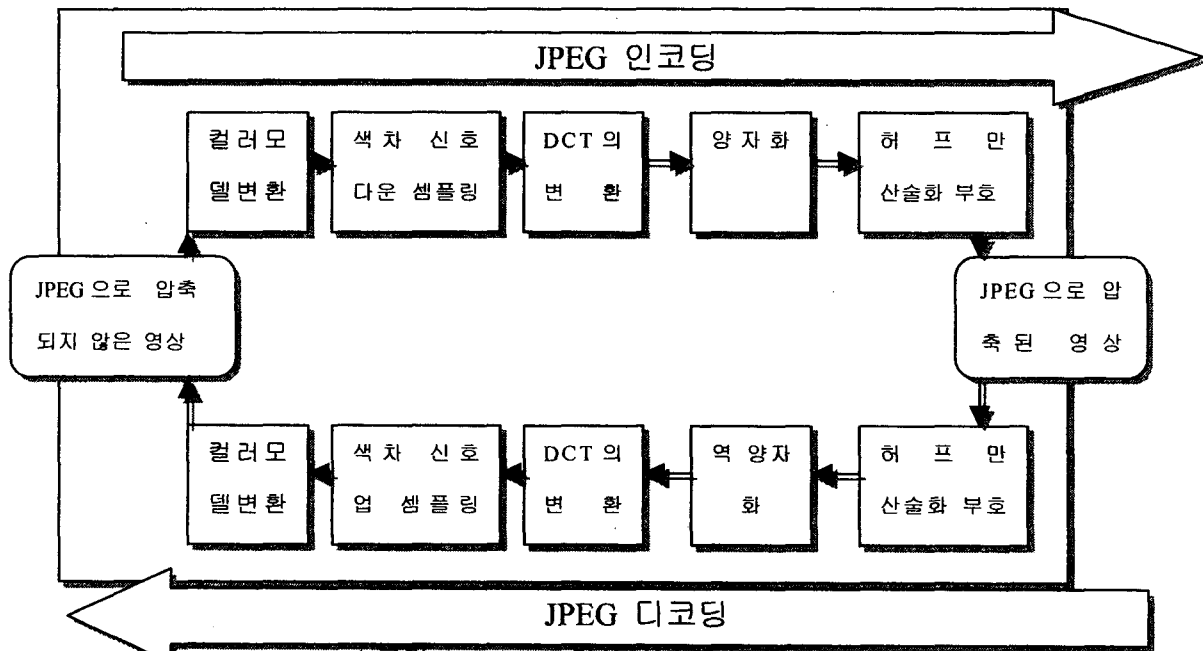
운전실의 모든 입,출력 I/O 배선이 운전실에 장착된 단자대를 통하여 각종 Digital I/O 및 Analog I/O Board 에 접속된다. Main System 과 입,출력 관계에 있는 신호는 CAB I/O Cabinet 에서 가공되어 System 에 적합한 신호로 변환된다. CAB I/O 는 실시간 데이터 처리를 위하여 시스템을 융통성 있는 방식으로 설계된다. 개발되는 프로그램에 의해 데이터의 입, 출력 관계를 다룬다. CAB I/O Cabinet 는 각 운전실 당 1 Set 가 할당되고 주 컴퓨터에 연결된다.

2.3. A/V Cabinet

문제점을 개선한다. 특히, Motion JPEG 기법을 도입함으로써 저속에서 영상의 질이 떨어지는 LD 방식의 단점을 개선한다.

3. 영상 시스템 구성

모의운전 연습기에서는 기존의 LD 방식의 Visual 처리 기법을 탈피하고 영상 처리의 신기술인 Motion JPEG 기법을 적용한다. JPEG 영상 시스템은 그림 2와 같이 구성된다.



(그림 2: JPEG 영상 시스템)

정지화상(사진 형태)을 컴퓨터에 보관하기 위해 JPEG 으로 명명된 데이터 압축 기술을 사용하는데 이 JPEG 는 촬영된 화상의 압축비율에 따라 화질을 조절할 수 있으며, MJPEG 는 연속된 JPEG 화상을 초당 30 프레임(Frame) 속도로 재현하는 것으로 그 내용은 다음과 같다.

- 압축비율 1/1.4 : 무 손실 화상
- 압축비율 1/4 : 베타 캠 수준(방송용 원고)
- 압축비율 1/7 : 방송 재생 수준
- 압축비율 1/10 : S-VHS 수준
- 압축비율 1/20 : VHS 수준(일반 VTR)

즉, 고해상도 카메라(방송용)로 촬영된 영상 신호를 수치화(Digitizing)한 후 Motion JPEG 기법에 의해 압축한다. 이를 데이터 베이스에 "Library" 형태로 저장하여 지정된 속도에 따른 복화(Decoding) 및 편집 단계를 실시간 처리 후 속도/거리에 따른 프레임 제어(Frame Control)를 하게 된다. 이러한 방법을 통하여 저속부터 고속까지의 영상 화면의 질과 해상도를 안정되게 얻을 수 있다. Motion JPEG 의 주요 장점으로서는 다음과 같다.

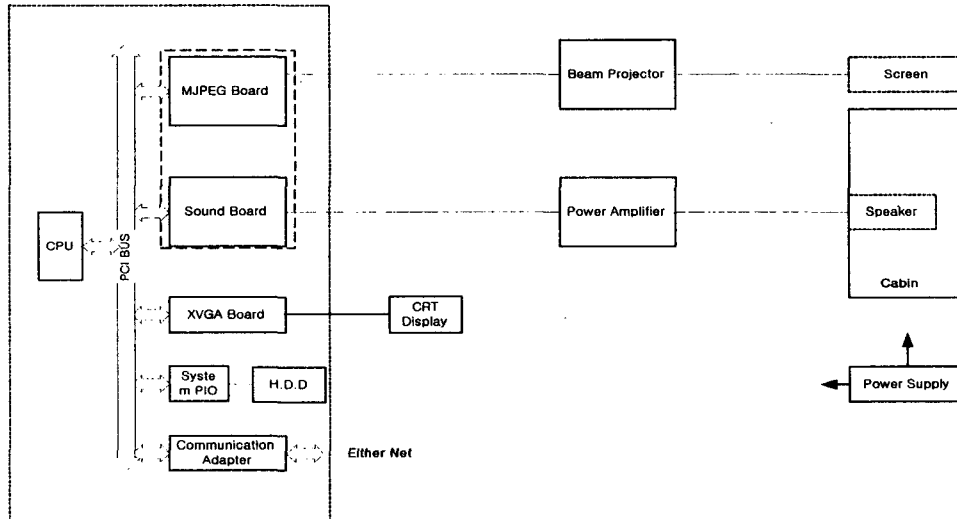
- 최종의 출력물인 영상이 표준 JPEG Format 이다.
- 고해상도에서도 화질 열화가 발생하지 않는다.
- 특수 Hardware 사용으로 실시간 고해상도 영상 재생이 가능하다.
- 비선형 제어가 가능하다.
- 프레임 제어(Frame Control)를 통한 시작점(Starting Point) 제어가 용이하다.

영상 데이터에 거리 정보를 내장하여 정확한 위치 제어 뿐만 아니라, 모의 운전 연습기의 장점으로 부각되는 음향(Audio)와의 동기(synchronization)화를 정확히 할 수 있다는 것이 영상처리 기술의 강점이다. 기본 구성은 영상 입력을 수치화(Digitizing) 및 압축하는 Hardware 와 복화(Decoding) 및 편집하는 Software 와 속도/거리 데이터에 따라 동작하는 프로그램(Video Engine)으로 구성된다. 운영 환경은 Windows 95/NT 에서 동작하도록 설계된다. 음향 재현(Audio Cue)과의 동기를 위해 수치화된 "Sound Library"와 위치를 상호 연결하여 영상 시뮬레이션의 병폐(Sickness)를 개선한다. 상기와 같은 기법은 모의 운전 연습기의 영상 기능 향상에 크게 기여한다. 수치화된 영상신호의 자유로운 처리기법을 통해 속도 대 영상의 문제점을 해결하여 기존의 LD 방식보다 기술의 우위성을 갖는다.

3.1. 영상 구동 방식

Video 시스템은 A/V Cabinet 에 할당된 Pentium 급 PC 와 주 컴퓨터가 상호 TCP/IP 통신 방식으로 연결되어 주 컴퓨터로부터 제어 신호를 받게된다. 이 제어 신호에 의하여 A/V Cabinet 내에 내장된 수치화되고 압축된 영상 데이터를 구동한다. 압축된 각 "File" 또는 "Library"내에 내장된 데이터가 연산 속도 및 위치정보에 따라 Video Engine Program 에 의

해 구동 되어 "내부 편집" 및 복화(Decoding)과정을 걸친 후 Video Board 를 통하여 Projector 에 영사한다. Projector 를 구동하는 영상 출력은 교관대에 설치된 Monitoring System/Monitor 의 Forward View Display 에 화면을 동시에 제공한다. Video Engine 은 영상신 호에 적합한 Audio Cue 나 Special Event 에 대한 동기 및 Overlay 기능을 동시에 수행하여



모의 운전 연습기의 Video 및 Audio 기능의 효과를 향상시킬 수 있도록 설계한다.

(그림 3. A/V cabinet)

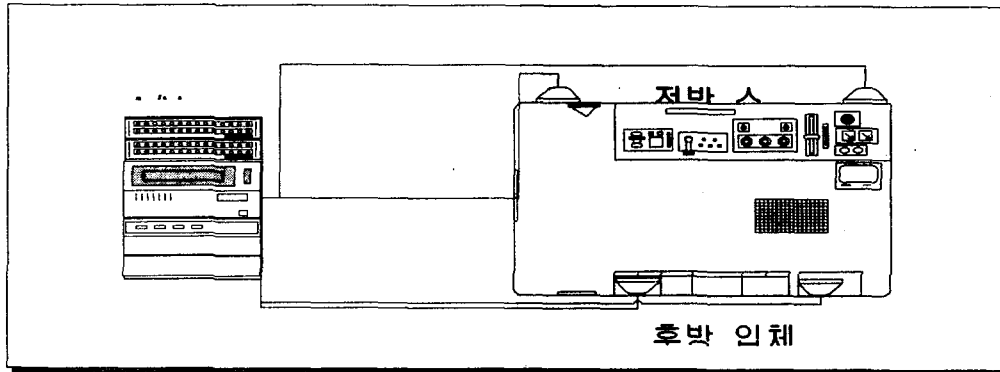
3.2. 스크린 구동 시스템 구성

스크린 구동 방식에는 전면 투영(Front Driving) 방식과 후면투영(Rear Driving) 방식이 있다. 모의운전 연습기에서는 현실감을 높이기 위하여 대형 스크린(100 인치)를 채용하고 설치공간의 여유를 확보하기 위하여 거울반사 후면투영(Rear Driving) 방식을 채택하여 구현한다. 이 방식은 전면 투영방식에 비해 가격면에서 고가이지만 스크린 화면이 운전실에 근접 시킬 수 있어 현실감을 높이고 전면투영 방식보다 고화질을 구현할 수 있다. 정비 및 유지·보수 차원에서는 전면투영 방식에 비해 간단하다. A/V Cabinet 출력이 Video Splitter 에 의해 분할되어 교관대의 Monitoring System/Monitor 의 Forward View Display 와 영사 공간에 설치된 Beam Projector 를 구동시키고 궤도 화면을 스크린에 영사한다. 스크린의 크기는 Trials and Errors 방식에 의하여 영사공간 내에서 최적의 스크린 해상도를 얻도록 설정한다. 방법은 Projector 로부터 스크린을 움직이며 가시적 효과가 최대로 나타나는 지점을 선택한다. Color 효과는 RGB(적색, 녹색,청색)신호의 크기를 컴퓨터로 조정하여 최적점을 찾는다.

4. 음향 시스템 구성

음향 시스템의 소리는 궤도 현장에서 직접 방송편집용 녹음기(High Quality Audio Recorder)로 녹음하여 특수한 방법으로 잡음 제거와 가공 처리를 거친 후 수치화(Digitizing)시켜 A/V Cabinet System 의 Sound "Library" 내에 Sound "File"로 보관한다. 이

Sound file 을 궤도 영상 신호와 동기화하여 Sound Board 로 Digital Sound 를 출력시킨다. 발생한 Digital Sound 신호는 Audio Amplifier 를 거쳐 4 개의 음향신호를 출력한다. 이 출력신호는 운전실에 설치된 하이파이(High Fidelity Stereo)용 스피커를 통해 음향 효과를 운전실 내에 제공한다. 이상과 같이 음향 시스템의 구성은 그림 4 와 같이 A/V Cabinet, Sound Board(컴퓨터 내장형), Audio/Power Amplifier 및 스피커로 구성된다.



(그림 4 : 음향 시스템 구성도)

5. 영상 재현(Replay)시스템 구성

모의운전 연습기에서 교육 결과에 대한 재평가목적으로 재현(Replay) 기능이 구현된다. 구성은 Forward View, Track/Train Status 또는 Driver View CCTV 를 동시 녹화할 수 있는 VTR 로 구성되어 있다. 교관이 주어진 교육 시나리오에 따라 교육생이 적절하게 대응하였는지 여부를 재 확인하기 위하여 Forward View, Track/Train Status 또는 Driver View 를 재생하여 볼 수 있다. 교육 시나리오 구성 방법으로는 크게 2 가지 방법을 선택할 수 있다.

- 1) 운전 모드별 Sequential Training Scenario 방법은 교관이 교육 명령에 의하여 정해진 조건(Default Condition)에 따라 교육 시나리오가 순차적으로 자동 동작하는 모드이다. 교관은 출발 역과 종착역의 정보만 제공하면 운행시간에 적합하게 운전 모드의 조합이 결정되는 방식이다.
- 2) 구간임의 선정(Random Access Scenario) 방법은 교관이 궤도의 구간을 임의 결정하여 무작위로 운전 모드를 부여해 교육을 실시하는 모드이다. 본 교육 모드는 교관에 의하여 임의로 완전 통제되는 교육 시나리오이다.

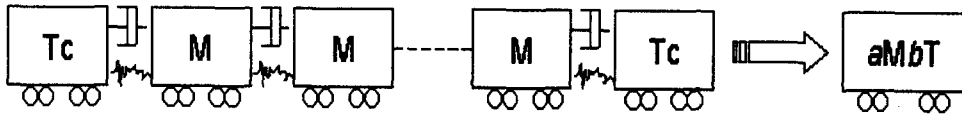
위 2 가지 교육 시나리오 모두 Special Event 와 Malfunction 기능은 교관에 의해 임의로 주어진다.

6. 전동차 시스템구성 및 MODELING

인천시 1 호선 전동차는 IGBT 를 사용한 VVVF 차량으로 편성은 8 량 또는 10 량으로 구성된다. 동력차(M), 운전실이 있는 부수차(TC1, TC2), 운전실이 없는 부수차(T1, T1', T2) 등이 있는데 이 차량들은 서로 다음과 같은 구성으로 연결된다.

- 8 량 편성 : TC1-M-M-T1-T1'-M-M-TC2

- 10 량 편성 : TC1-M-M-T1-T1'-M-T2-M-M-TC2



(그림 5 : Modification of a Trainset for Longitudinal Dynamics Modeling)

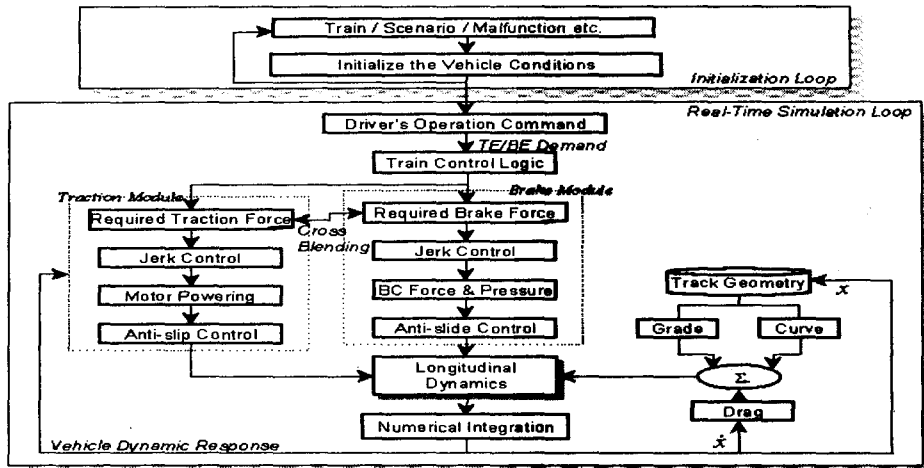
각 차량의 주요 장치는 다음과 같이 요약된다.

TC 차는 운전실을 포함하며, 열차 종합정보 시스템(TIS), 보조 전원 장치(SIV), 주간 제어기, 주공기 압축기 및 펄스폭 변조(PWM) 인코더 등이 있다.

- M 차는 견인 장치를 포함하여 두개의 판토품(P1 및 P2), 피뢰기(SA), 주휴즈(MF) 및 보조휴즈(AF) 등이 있다.
- T1, T1' 차는 열차 종합정보 시스템 장치를 포함한다.
- T2 차는 열차 종합정보 시스템(TIS)장치 및 보조 전원 장치(SIV)를 포함한다.

6.1 전동차 모델링

전동차 모델링의 주 구성은 Train System Logic, 추진/제동, Longitudinal force, Door Operation Logic, 운전 방식 및 운전모드 구현을 Base Line 으로 한다. 모델링의 구현 Block Diagram 은 그림 6 과 같다. 입력 데이터에 의하여 차량 상태를 초기화 하면 운전 모드 방식이 결정된다. 출력은 TE(Traction Effort) 또는 BE(Braking Effort)가 된다. Train System Logic 에 의하여 동작 상태의 조건을 성립시킨 후 추진/제동 Algorithm 으로 명령이 전달된다. 추진 전자 장치에 의하여 제어되어 Anti-Slip 조건을 만든 후에 모터를 구동하기 위한 추진력을 산출한다. 제동 부분은 제동 전자 장치에 의해 제동 기능이 연산되어지고, 추진과의 Blending 을 한 후에 Anti-Skid 제어 회로를 걸쳐 제동력이 제동 장치에 전달된다. rack 의 Geometry 조건은 Database 에 구축된 Gradient 및 Curvature 조건에 대한 연산 과정을 거쳐 Main Algorithm 에 조건이 전달된다. 그림에서 보는 바와 같이 Numerical Integration/Calculation 후에 차량이 움직일 수 있는 가상 데이터가 출력되어 영상 시스템을 구동하게 된다. 그 외의 운전모드 및 조건 점검시 Door Control Logic 및 각종 회로 상태가 운행 조건에 맞는지 여부가 결정된다. 자동 운전 모드용 ATC/ATO 기능은 주 컴퓨터의 프로그램에서 구현되며 모의 MMI 및 TIS 기능도 주 컴퓨터에 의해 제어된다. 방송 및 무선 시스템은 운전실과 직접 유선 방식으로 Simulation 하여 교관이 통제할 수 있도록 구현한다. 각종 Special Event 와 Malfunction 기능은 Train System Logic, 추진/제동 및 Door Control Logic 과 연계하여 조직적으로 구현한다.



(그림 6 : 모델링 구현 Block Diagram)

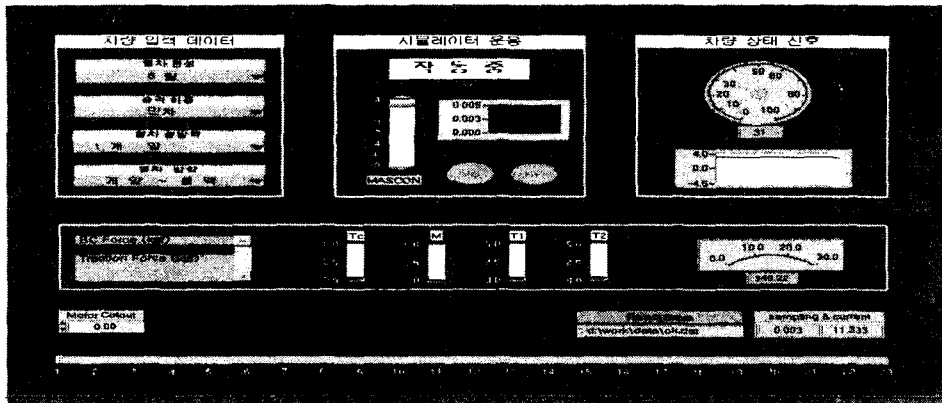
6.2. 운전실 시스템 구성

모의운전 연습기에서 운전실의 주요 장비는 실제 전장품을 사용하고, 일부 기기나 NFB 등 Simulation이 필요한 부분은 수정된다. 교육생의 운전관련 동질성 확보와 이상대처의 동질성 확보를 위하여 차량내 실제 장치/부품과 동일한 장치/부품을 사용하는 경우와 기능적인 측면에서 동질성을 갖도록 하는 경우가 있다. TICC1, ATC/ATO, MTS 관련장치, Impulse Magnet Valve(PBMV)의 기능은 모의운전연습기 주 컴퓨터 내 소프트웨어적으로 Modeling 되어 내장된다.

6.3. 운전실 장치 시뮬레이션

LabVIEW를 이용해 그림 7과 같이 차량의 제원을 결정하고 운동상태를 모니터링하기 위한 GUI 환경을 개발한다. 차량의 동력학 모델은 Digital Visual Fortran을 이용해 코딩해 DLL로 컴파일하여 LabVIEW와 인터페이스하였으며, 차량의 운동은 정확성과 속도에 있어서 적절한 성능을 발휘하는 3차 Adams-Bashforth 적분기법을 이용하여 해석하였

다. 기본적으로 개발된 전동차 모델로 주행명령에 대한 기본적인 동적 응답을 각 조건에 따라서 시뮬레이션을 수행해 보았다. 공통적으로 차량은 8량의 만차상태이다.



(그림 7: 전동차 실시간 시뮬레이션 콘솔)

6. 4. Malfunction

모의운전 연습기의 장점은 임의로 교관에 의하여 교육 시나리오에 Malfunction 기능을 부여할 수 있다는 것이다. 이러한 교육의 융통성에 의하여 실 전동차에서 훈련하기 힘든 모의훈련 사항을 구현할 수 있다. Malfunction의 종류는 각종 NFB Trip 및 Subsystem의 Malfunction으로 구분하고 50 항목까지 수용한다.

7. 결론

시뮬레이션 시스템의 교육목표는 열차 특성 모델링이 실차에 준한 조건 분석에 의해 구축되므로 다양한 환경변화에 따른 교육에도 쉽고, 안전한 운전기법과 경제적이고 표준화된 운전기법을 습득하며, 갑작스러운 열차고장에 따른 대처방법을 숙달하고, 악천후 기상조건에서의 운전기법과 장애물 출현상황에서 비상운전과 사고후 대처방법을 숙달하고 록 하였다. 실제 열차의 내부와 동일하게 구성되어 모의 제작된 CAB 내에서 실차운전에 가까운 현장감을 느끼면서 운전연습을 할 수 있도록 구성된 각종기기 및 계기와 또한, 이들을 제어할 수 있도록 제작된 PROGRAM 및 영상, 음향장비를 포함한 전동차 모의운전연습 시스템에 대하여 연구하였다.

국내에서 개발되어진 대부분의 전동차 모의운전 연습기들은 외국의 기술력을 이용해 개발되고 있다. 이에 따라 전동차 시뮬레이션을 비롯한 중요한 분야들에 대한 독자적인 분석이나 적용이 미흡해 추후 수정이나 보완이 요구될 경우, 경제적·기술적인 어려움을 자주 겪어 왔다. 이번에 개발된 전동차 모의운전 연습기는 국내의 기술력을 기본으로 설계되어, 타시스템보다 수요자의 요구사항과 교육효과를 충족시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 전동차 모델링에 있어서는 실제 전동차의 회로를 분석해 프로그램화한 TSLM(Train System Logic Modeling)보다 세밀하게 개발되어, 전동차 자동검사 장치(ATTS)와 모의운전 연습기를 연결해 통합적인 전동차 운용 및 보수 방법을 확립할 수 있다. 앞으로 새로운 기술혁신에 의한 가상현실 입체영상을 채택하여, 운전교육의 효과를 극대화할 수 있는 몰입형 모의운전 연습기를 개발하여야 한다.

<참고문헌>

- [1] 전동차 모의운전연습기, 샬롬엔지니어링(주), 1999.4.
- [2] technical proposal (인천 전동차 시뮬레이터), 샬롬엔지니어링(주), 1998.1.
- [3] 모의운전연습기 사용자지침서, 한국철도, 1997.2
- [4] 전동차 실시간 시뮬레이션시스템, 샬롬엔지니어링(주), 김봉택, 1999.4.
- [5] 컴퓨터시뮬레이션, 백두건저, 1995.9.
- [6] Rail car cab simulator, HUGHES training inc., 1997.1.