

철도차량 시뮬레이션의 디지털 영상제어 시스템 연구

A study on the Digital Video control system for train simulator

김 봉택*

최 성**

Kim, Bong-Taek

Choi, sung

Abstract

A study on the static type train simulator will include the training of new drives requires that the environment of the cab, controls placement, etc. must highly realistic so that driver can readily transfer his training experience to the real world. The simulator computer sends video disc speed command to a Video PC processor. A video switcher select the output of the on-line player. This selection is done with loss of vertical synchronization, meaning the picture will not noticeable roll or jump as the simulation mover from disc to disc. The video image quality remain constant through the simulated speed range from zero to 100km/h.

Flicker is avoided in the scene by the use of a TBC(Time Base Corrector) which causes the display of one video field at a time. Thus, no interfield jitter is present when the scene is stopped.

1. 전동차 모의운전 연습기의 정의

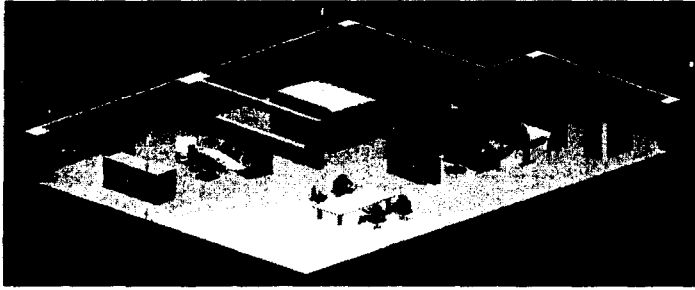
모의운전 연습기(Driver training simulator)는 전동차의 특성을 논리적으로 모델링(Modeling)하여 실제 전동차를 대신하여 운전자를 교육시키고 평가하는 교육장비라고 정의하며, 중요한 모든 전동차의 특성을 소프트웨어적으로 프로그래밍하여 전동차의 운행 특성을 주컴퓨터 시스템에 내장(Built in)하고 Malfunction 및 돌발적 현상 등의 기능도 논리적으로 구현한다. 운전실 장비도 현실감을 주기 위하여 실 장비의 모의적인 구현을 하고 있으며, 교육평가를 위한 수치적 평가(점수관리)의 교육 알고리즘(Algorithm)도 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 재평가 방법으로 재현(Replay) 개념을 적용할 수 있어 교육 결과 분석의 근거 자료를 제공한다. 또한 환경 변화의 자유자재의 모의 조작을 통한 특수 환경 상황에 대한 적응 훈련/교육을 실시한다.

2. 모의운전 연습기 시스템 구성(System Configuration)

모의운전 연습기의 전체 시스템 구성은 그림 1 과 같으며, 정지형(Static) 모의 운전 연습기로 1 대의 교관 Console 과 2 대의 운전실로 구성된다. 시스템의 운영 방식은 교관대(Console)에서 같은 교육 시나리오로 2 대의 운전실의 학생을 동시에 교육하는 방법과 각기 다른 시나리오로 교육하도록 구성하였다.

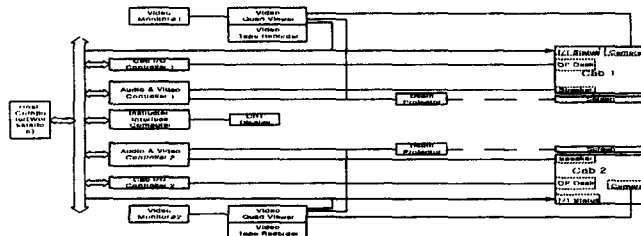
*살롬엔지니어링㈜ 대표이사, 특별회원

** 남서울대학교 컴퓨터학과 교수, 정회원



(그림 1 : 전체 시스템 전경)

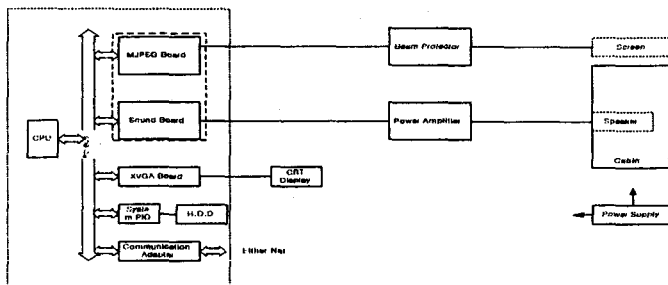
표준 설정은 다른 1 대의 운전실은 상행에 설정하고 1 대의 운전실은 하행을 설정, 운영하도록 구성한다. 필요에 따라 같은 교육 시나리오의 동시 교육 목적으로 변경 운영이 가능하다. 교육 운영 방식은 교관에 의한, 컴퓨터에 명령삽입(Teach-In) 방식을 채택한다. 시스템 구성은 각 운전실에 CAB I/O Cabinet 과 Audio/Visual Cabinet 가 연결되고, 각 운전실에 공동으로 Simulation 을 위한 주 컴퓨터(Main Computer)와 교관대로 구성되어 있다. 운전실의 입출력 명령은 CAB I/O Cabinet 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. 이에 대한 전체 시스템의 구성도(Diagram)는 다음과 같다.



(그림 2 : Train Simulator 전체 기능 구성도)

1) A/V Cabinet

Audio 와 Visual 에 관한 Library(표준화된 프로그램 자료)가 저장되어 있는 Audio/Visual Cabinet 은 모의 운전연습기의 음향 및 영상 신호를 제공한다. Visual 처리 방식은 최신 영상 가공 기술인 Motion JPEG(정지화상의 연속적인 동영상처리기술)기법을 채택하여 궤도 영상, 돌발 상황(Special Event) 및 신호 현시가 효과적으로 실시간 처리가 된다. 이러한 컴퓨터 지원에 의한 영상처리(Computer Aided Visual Handling) 기술에 의하여 음향 효과와 적절한 동기가 용이하게 된다. 이러한 기법으로 기존의



(그림 3 : A/V 시스템 구성도)

LD(Laser disc) 방식의 화질 상의 문제점을 개선하고 음향과의 동기 문제도 효과적으로 개선된다. A/V Cabinet 의 출력인 음향 신호는 운전실 내의 스피커와 연동 되어 음향 효과를 교육 생에게 느끼게 하고 영상 출력은 Projector 를 통하여 스크린 상에 영상의 현실감을 느끼게 한다. 이에서 지적인 바와 같이 기존의 모의 운전 연습기는 음향/영상을 분리 운영 하고 있기 때문에 동기(synchronization) 방식에 많은 어려움을 갖고 있으나 본 시스템에서는 기술적으로 이러한 문제점을 개선한다. 특히, Motion JPEG 기법을 도입함으로써 저속에서 영상의 질이 떨어지는 LD 방식의 단점을 개선한다.

3. 영상압축기술

1) JPEG 의 개요

1982 년에 ISO(International Standard Organization)의 PEG(Photo Graphic Experts Group)과 CCITT(International Telegraph and Telephone Consultative Committee)의 연구 기관의 영상 전문가가 연합해 공동 연구에 착수했고 영상 전문가 연합을 Joint Photographic Expert Group 이라 했으며 약자를 따서 JPEG 라고 했고 1990 년 JPEG 에서는 픽셀 당 6bit 에서 24bit 를 갖는 정지 영상을 압축할 수 있는 고성능 정지 영상 압축 방법에 관한 국제 표준을 만들어 냈다. 파일 표준은 발표되지 않았으나 후에 JPEG 에서 만든 압축 방법을 이용한 파일 포맷이 만들어졌으며 이 파일 포맷이 JPEG 라고 한다.

(1) JPEG 의 압축 방법

다른 압축 방법과는 달리 JPEG 은 특정한 압축 알고리즘을 지칭하는 말이 아니다. JPEG 에는 여러 가지 압축에 관련된 국제 표준이 규정되었으며, 압축하고자 하는 대상 영상의 성질에 따라 적합한 알고리즘을 선택해 사용할 수 있다.

- ① DCT(Discrete Cosine Transform : 이산 여현 변환)압축 방법은 JPEG 의 기본 압축 방법으로,DCT 에 기반한 유손실 압축 방식이다.
- ② 점진적 전송이 가능한 압축 방법 : 영상 파일을 읽어오는 중에 화면 출력을 할 수 있도록 한 압축 방법이며 전송 속도가 낮은 네트워크를 통해 영상을 전송 받아 화면에 출력할 때 유용한 모드로서 영상의 일부를 전송됨에 따라 영상의 화질을 개선하면서 화면 출력이 가능하다.
- ③ 계층 구조적 압축 방법 : 피라미드 코딩방법이라고 하며, 하나의 영상 파일에 여러 가지 해상도를 갖는 영상을 한번에 저장하는 방법이다.

(2) 무손실 압축 방법

JPEG 표준에는 DCT 가 아닌 2D-DPCM 을 이용한 압축 방법을 이용해 무손실로 영상을 압축할 수 있는 방법도 들어 있다. JPEG 표준에는 이와 같이 여러 가지 압축 방법이 규정돼 있지만 일반적으로 JPEG 으로 영상을 압축해 저장한다면 DCT 를 기반으로 한 기본 압축 방법으로 압축해 저장하는 것을 의미한다. 이 방법을 'Baseline JPEG' 이라고 하며 JPEG 를 지원하는 모든 Application 은 반드시 이 방법을 기본으로 지원해야 한다. Baseline JPEG 압축 방법은 유손실 압축 방법이기 때문에 영상에 손실을 많이 주면 화질은 좋지 않지만 압축이 많이 되고,손실을 적게 주면 좋은 화질을 유지할 수 있는 대신 압축이 조금밖에 되지 않는다. 손실정도를 규정하는 값을 'Q(Quantization; 양자화)팩터' 라고 하는데, 이것 1 부터100 까지의 값으로 표현할 수 있다. Q 팩터가 1 이면 최대의 손실을 내면서 가장 많이 압

축을 하는 것이며, Q 팩터가 100 이면 최소의 손실을 내면서 가장 적게 압축을 한다. 그러나 Q 가 100 일 경우도 화질에 손실이 발생한다는 점. DCT 를 기반으로 한 압축 방법은 영상손실을 막을 수 없고 무손실로 압축해야 할 때는 2D-DPCM 에 기반한 무손실 압축 방법을 사용해야 한다.

(2) Baseline JPEG

JPEG 의 최소 압축사양으로 모든 JPEG 관련 Application 은 적어도 이 압축 방법만큼은 반드시 지원해야 한다.

2) JPEG 압축과정

(1)영상의 컬러 모델을 YIQ(NTSC 가 채용한 컬러 TV 방송용 표준 색채계로서 휘도 신호와 색차 신호로 구성)모델로 변환한다.

(2)2X2 영상 블록에 대한 평균값을 취해 색채(Chrominance; 색차) 신호성분을 다운 샘플링 한다.

(3) 각 컬러 성분의 영상을 8X8 크기의 블록으로 나누고 각 블록에 대한 DCT 를 수행한다.

(4) 각 블록의 DCT 계수를 시각에 미치는 영향에 따라 가중치를 주어 양자화한다.

(5) 양자화된 DCT 계수를 Huffman Coding 방법에 의해 코딩해 파일로 저장한다.

JPEG 압축의 기본원리는 영상 정보를 시각적으로 중요한 부분과 덜 중요한 부분으로 분리해 중요한 부분은 살리고 덜 중요한 부분은 손실시켜 데이터 양을 줄이는 것이다. 다음 그림은 JPEG 의 영상 압축과 복원 과정을 표현하고 있다.

3) JPEG 특성

JPEG 는 사진과 같은 자연 영상을 20:1 이상 압축할 수 있는 성능을 지니고 있어 현재 사용되고 있는 정지 영상 파일 포맷 중에서는 가장 높은 압축 율로 영상을 압축, 저장할 수 있는 것이다. 기존의 영상 파일 포맷과는 달리 영상 압축할 때 영상정보의 일부를 손실하기 때문에 의료 영상과 같은 중요한 영상을 저장하는 데는 사용할 수 없다.

장점으로는 첫째 확대, 축소, 회전 등의 영상 처리를 자유롭게 할 수 있다. 둘째는 고속으로 랜덤 액세스할 수 있다. 셋째는 영상 처리나 영상 전송 시에 화질이 열화 되지 않는다.

단점은 첫째는 중요한(정밀도를 요구 하는) 사진 정보는 보관할 수 없다. 둘째는 비용이 많이 들어간다. 이상은 JPEG 에 대한 일부 특성 및 압축 방식에 대한 내용이며 살롱엔지니어링㈜에서 인턴 SIMULATOR 에 사용할 실 영상의 압축 방식 및 영상 처리 방식은 영상에 손실은 있으나(미세한 차이) 영상 데이터를 사용자 임의로 정의하여 사용할 수 있는 JPEG 의 압축 방식의 하나인 DCT 압축 방식이 실현 가능하다고 볼 수 있다.

4) M-JPEG (Motion JPEG)

MJPEG(Motion JPEG) 란 연속된 JPEG 화면을 영화 필름과 같이 초당 25-30 프레임의 속도로 재생할 수 있는 형식으로 저장하는 기술이다. 우리가 흔히 컴퓨터 상에서 보는 동화상은 MJPEG 가 아닌 MPEG1 이란 압축기법을 사용한 것으로 압축 율이 200:1 이상인데, 일반적인 컴퓨터 하드디스크의 낮은 전송속도 환경에서 동화상을 보관/재생하기 위해 이와 같이 높은 압축 율을 사용하는 것이다. 한편 하드웨어를 사용하지 않고 소프트웨어 프로그램만으로 초당 20-30 프레임의 동화상을 풀어내기 위하여는

세밀한 부분의 처리를 희생한 거친 화질을 제공할 수 밖에 없다. Video CD 재생기와 같은 하드웨어로 재생된 화질도 MPEG1 고유의 특성인 고정 전송속도로 인하여 화질이 MJPEG 보다 떨어진다. MJPEG 이란 한마디로 영상필름을 요구되는 화질을 만족하는 압축 율로 하드디스크에 보관하고 이를 재생하는 기술로 정의할 수 있다. 다만 재생시 영사기가 아닌 MJPEG 디코더(Decoder)라고 불리는 카드를 사용하여야 하는 것이다. MPEG 는 영상의 각 프레임간의 차이에서 발생하는 데이터를 압축하는 형식으로 기록되므로 정 방향 재생은 문제가 없으나, 역 방향 재생은 영상에 많은 손실이 발생하고 매우 부자연스러운 재생이 된다. MJPEG 는 영상의 각 프레임의 압축을 상기에 기술한 JPEG 의 영상 압축방식을 사용하여 기록하고 재생 함으로서 역 방향 및 정 방향 재생에 아무런 문제가 없다.

5) M-JPEG 의 압축비율

(1) 화상의 화소 : 해상도 720 × 480 칼라인 경우(방송규격) 720 × 480 × 3 = 1 Mbytes

(2)시간 분량의 원래 화상 데이터: 1MB × 30 × 60 × 60 = 108 Gbytes

(표 1 : M-JPEC 의 압축 율)

1 : 1/1.4	원래 영상 수준 (손실 없음)	1 : 1/10	방송재생 수준 (S-VHS)
1 : 1/4	방송원본 수준 (베타 캠)	1 : 1/20	일반 VTR 재생 수준 (VHS)
1 : 1/7	방송재생수준		

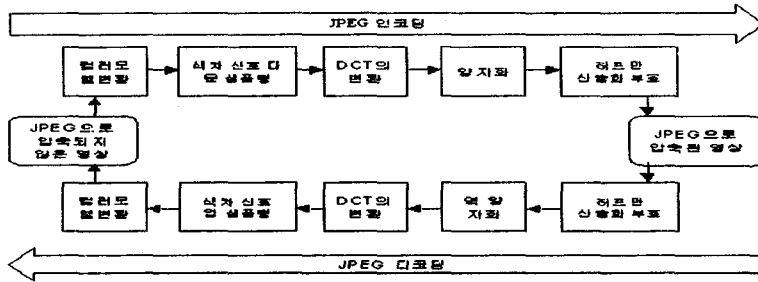
(3) 운전연습기 적용 압축 율

약 1/7 수준으로 압축해 사용. HDD 용량은 27GB 로서 CAB 1 개당 100 분 재생 가능한 용량이다. 이중 실영상은 60 분이며 40 분은 여유 용량이다.

4. 영상 시스템 구성

본 모의 운전 연습기에서는 기존의 LD 방식의 Visual 처리 기법을 탈피하고 영상 처리의 신기술인 Motion JPEG 기법을 적용한다. JPEG 영상 시스템은 그림 4 와 같이 구성된다. 정지화상(사진 형태)을 컴퓨터에 보관키 위해 JPEG 으로 명명된 데이터 압축 기술을 사용하는데 이 JPEG 는 촬영된 화상의 압축비율에 따라 화질을 조절 할 수 있으며, MJPEG 는 연속된 JPEG 화상을 초당 30 프레임(Frame) 속도로 재현한다. 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 안정적으로 얻을 수 있다. Motion JPEG 의 주요 장점으로 는 다음과 같은 사항들이 있다.

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



(그림 4: JPEG 영상 시스템)

영상 데이터에 거리 정보를 내장하여 정확한 위치 제어 뿐만 아니라 본 모의 운전 연습기의 장점으로 부각되는 음향(Audio)와의 동기(synchronization)화를 정확히 할 수 있다는 것이 본 영상 처리 기술의 강점이다. 기본 구성은 영상 입력을 수치화(Digitizing) 및 압축하는 Hardware 와 복화(Decoding) 및 편집하는 Software 및 속도/거리 데이터에 따라 동작하는 프로그램(Video Engine)으로 구성된다. 운영 환경은 Windows 95/NT 에서 동작하도록 설계 된다. 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 절대적으로 기여하게 된다. 수치화된 영상신호의 자유로운 처리기법을 통해 속도 대 영상의 문제점을 해결하여 기존의 LD 방식보다 기술적 우위성을 갖는다.

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 받게 된다. 이 제어 신호에 의하여 A/V Cabinet 내에 내장된 수치화되어 압축된 영상 데이터를 구동한다. 수치화 압축된 각 "File" 또는 "Library" 내에 내장된 데이터가 연산된 속도 및 위치 정보에 따라 Video Engine Program 에 의해 구동되어 "내부 편집" 및 복화(Decoding)과정을 걸친 후 Video Board 를 통하여 Projector 에 영사한다. Projector 를 구동하는 영상 출력은 교관대 Monitoring System/Monitor 의 Forward View Display 에 화면을 동시에 제공한다. Video Engine 은 영상신호에 적합한 Audio Cue 나 Special Event 에 대한 동기 및 Overlay 기능을 동시에 수행하여 모의 운전 연습기의 Video/Audio 기능의 효과를 향상시킬 수 있도록 설계된다.

2) 스크린 구동 시스템 구성

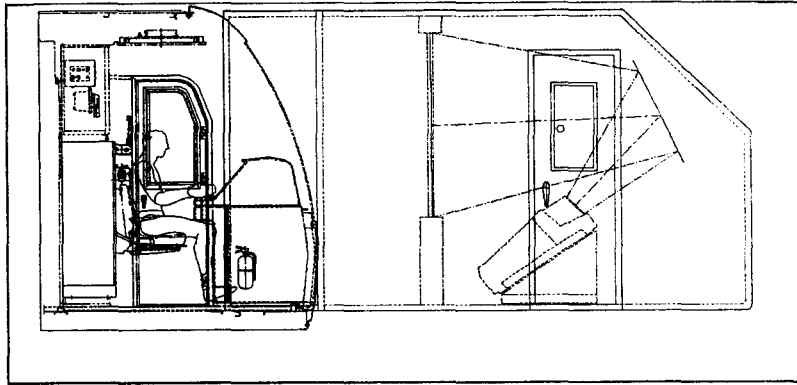
스크린 구동 방식에는 전면 투영(Front Driving) 방식과 후면투영(Rear Driving) 방식이 있다. 본 모의 운전 연습기에서는 현실감을 높이기 위하여 대형 스크린(100 인치)을 채용하고 설치공간의 여유를 확보하기 위하여 거울반사 후면투영(Rear Driving) 방식을 채택하여 구현한다. 이 방식은 전면 투영방식에 비해 가격면에서 고가이지만 스크린 화면이 운전실에 근접 시킬 수 있어 현실감을 높이고 전면투영 방식보다 고화질을 구현할 수 있다. 정비 및 유지 보수 차원에서 전면 투영방식에 비해 간단하다. 스크린 구동 시스템의 구성은 A/V Cabinet 와 Projector 및 스크린(Screen)은 그림 5(Rear Screen)과 같다.

3) 스크린 구동 방식

A/V Cabinet 출력이 Video Splitter 에 의해 분할되어 교관대의 Monitoring System/Monitor 의 Forward View Display 와 영사 공간에 설치된 Beam Projector 를 구동 시키고 궤도 화면을 스크린에 영사한다.

스크린의 크기는 Trials and Errors 방식에 의하여 영사공간 내에서 최적의 스크린 해상도를 얻도록 설정

한다. 방법은 Projector로부터 스크린을 움직이며 가시적 효과가 최대가 나타나는 지점을 선택한다. Color 효과는 RGB(적색, 녹색, 청색)신호의 크기를 컴퓨터로 조정하여 최적 점을 찾는다.



(그림 5 : Rear Screen)

4) 음향과 영상 신호 동기방식

A/V Cabinet 에 내장된 음향 데이터와 영상 데이터는 속도/거리 기준에 의해서 주 컴퓨터의 명령에 의하여 동시에 음향 채널 및 영상 채널로 출력한다. 속도연관(Velocity Dependent) 음향은 구축된 데이터 베이스를 통하여 속도에 따른 음향 변화가 영상 신호와 동기화 되어 출력된다. 음향은 화면(궤도) 위치 및 속도에 의하여 특유한 음향 변화가 재생되도록 데이터베이스의 관리가 이루어져 영상 신호와 동기화 되어 현실감 있는 음향 효과를 얻는다.



(그림 6 : 지하구간 - 안개지역 영상시스템)



(그림 7 : 지상지역 - 주행구간 영상시스템구현)

5. 결론 및 앞으로의 방향

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.

모의 운전 연습기에서는 기존의 LD 방식의 Visual 처리 기법을 탈피하고 영상 처리의 신기술인 Motion JPEG 기법을 적용하였다. 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 본 영상처리 기술의 강점이다. 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, 타 시스템보다 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 있었다. 앞으로 새로운 기술혁신에 의한 가상현실 입체영상을 채택하여, 운전교육의 효과를 극대화할 수 있는 몰입형 Stereoscopic 가상현실 모의운전 연습기를 개발하도록 해야 한다.

<참고문헌>

- [1] 전동차 모의운전연습기, 샬롬엔지니어링(주), 1999.4.
- [2] technical proposal (인천 전동차 시뮬레이터), 샬롬엔지니어링(주), 1998.1.
- [3] 모의운전연습기 사용자지침서, 한국철도청, 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.
- [7] Train Simulator MANUAL, 인천지하철 1 호선, 교육용 교본, 1999.5.