

틸팅 차량용 시뮬레이터 적용을 위한 통제 및 가상현실 영상 시스템 개발

Development of a Control and Virtual Reality Visual System for the Tilting Train Simulator

김정석* · 송용수* · 한성호*

Jung-Seok Kim · Young-Soo Song · Seong-Ho Han

Abstract

This paper presents a development of the control and the virtual reality visual system for a tilting train simulator. The user of the tilting train simulator is able to set up the environmental and operating conditions through the user interface provided by the control system. In the control system, an arbitrary track which has user-defined curve radius, length and direction can be generated. The virtual reality visual system provides an artificial environment that is composed of several facilities such as station, platform, track, bridge, tunnel and signaling system. In order to maximize the reality, all of the 3D modeling were based on the real photographs taken in the Jungang line. A dome screen with 1600mm diameter was used to maximize the view angle. The hemispherical screen can ensure the view angle of the 170 degrees of vertical direction and 135 degrees of lateral direction.

Keywords : Tilting Train(틸팅 열차), Simulator(시뮬레이터), Control System(통제시스템), 가상현실영상시스템(Virtual Reality Visual System)

1. 서론

시뮬레이터란 현실은 아니지만 현실에 가까운 상황을 구현해내는 장비로 일명 가상실험 장치라고도 한다. 시뮬레이터는 초기 군사장비훈련이나 교육용으로 사용되기 시작했다. 항공기 조종훈련 시뮬레이터가 대표적인 예인데 다양한 비행상황을 설정하고 조종사의 조종기술 향상을 위해 중앙 통제센터가 있고 많은 통제관과 막대한 전산장비들이 포함되어 있다. 시뮬레이터는 항공기뿐만 아니라 최근에는 자동차 [1-5]나 선박[6] 등에서도 많이 응용되고 있다. 본 논문에서는 틸팅열차의 거동을 모의하기 위해 개발된 틸팅 시뮬레이터의 핵심부분인 시뮬레이터의 통제시스템과 가상현실 시스템을 개발하였다.

2. 시뮬레이터의 구성

틸팅 동특성 주형 시뮬레이터는 외형 구성상 제어랙 #1,

제어랙 #2, 반구형 영상시스템 및 6자유도 운동판으로 구분할 수 있다. 제어랙에는 차량 모델링에 의한 차량동역학을 구현하는 시뮬레이션 컴퓨터, 명령과 각종 정보의 모니터링을 하기위한 IOS 컴퓨터, 컴퓨터 그래픽에 의한 가상현실을 구현하는 영상 컴퓨터 및 운동판을 제어하기 위한 모션 제어용 컴퓨터가 설치되어 있다. 이들 각 컴퓨터는 8Port 스위칭허브에 연결되어 네트워크되며 상호 관련 데이터들을 UDP(User Datagram Protocol)통신을 이용하여 송수신하게 된다. 영상시스템은 직경 1600mm 돔 스크린 및 Ultra Wide Angle Lens를 적용하여 탑승자의 몰입감과 시야각(field of view)을 극대화하였다. 열차의 운행중 발생가능한 운동을 모의하기 위한 6자유도 운동판은 운동판, 제어장치, 구동장치로 구성되어있다. 틸팅열차용 시뮬레이터의 형상은 Fig. 1과 같다.

Fig. 2는 개발된 틸팅시뮬레이터의 입출력 흐름도를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 사용자에 의해 설정된 운용환경은 통제 시스템을 통해 차량동역학 해석 모듈로 전달되고 차량동역학 해석을 통해서 계산된 차량의 위치, 자세, 속도 및 가속도 정보는 운동판의 동작과 가상현실 영상 시스템에 의한 실시간 이미지 생성을 위해 가공되어진다.

* 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원 기존철도사업단
E-mail : jskim@krrri.re.kr

TEL : (031)460-5663 FAX : (031)460-5699

* 한국철도기술연구원 기존철도사업단

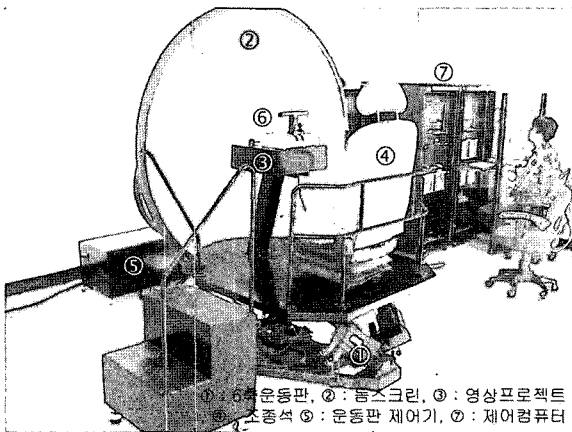


Fig. 1. Photograph of the tilting train simulator

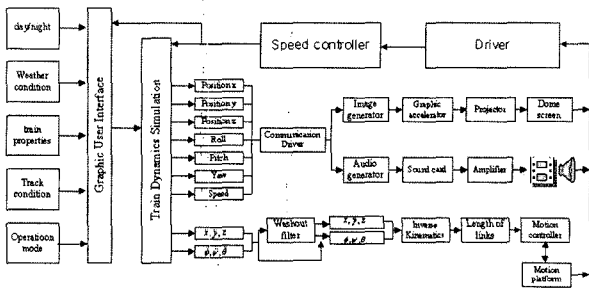


Fig. 2. Flow chart of the tilting train simulator

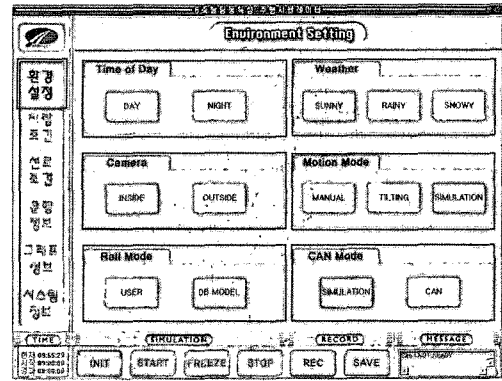


Fig. 3. Main menu of the control system

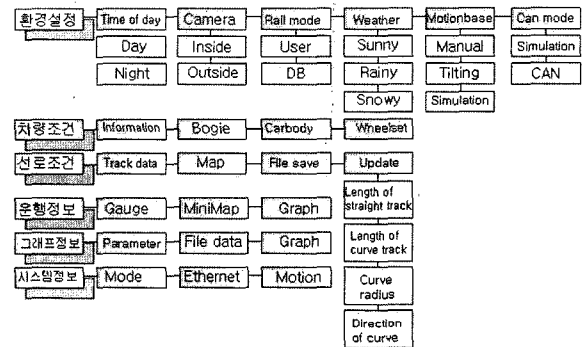


Fig. 4. Hierarchy of control system

이러한 운동판의 운동, 가상현실 영상 및 음향의 동기화를 통해 현실감을 극대화하게 된다.

2.1 통제시스템

틸팅열차용 시뮬레이터의 통제시스템은 사용자와 시스템 사이의 인터페이스를 제공하는 부분으로 Visual C++을 이용하여 구성하였다. Fig. 3은 구성된 통제 시스템의 메인화면이다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 화면의 좌측에는 6개의 메뉴가 있으며, 가상현실시스템의 운용환경설정, 차량조건 입력, 선로조건설정, 운행정보 모니터링, 그래프 정보 및 시스템 정보를 모니터링 할 수 있다. Fig. 4는 통제시스템의 계층구조를 나타낸 것이다.

① 환경설정

환경설정모드에서는 시뮬레이터를 운용하는데 있어 필요한 운용환경을 설정하게 된다. 설정가능한 환경은 주야(time of day), 날씨(weather), 뷰(camera), 운동모드(motion mode), 선로(rail mode) 등이다. Fig. 3의 환경설정모드에서 운동판 모드(motion mode)에서 시뮬레이션 (simulation)은 탑승자가 실제차량에 탑승한 것과 유사한 탑승감을 느낄수 있도록

워시아웃 필터(washout filter)를 적용하는 모드, 틸팅(tilting)은 탑승감과 상관없이 실제 틸팅각을 모의해 주는 준정적 모드이며, 매뉴얼(manual)은 사용자가 입력치 조정을 통해 운동판의 변위를 조정할 수 있는 모드이다. 사람은 힘(직선 및 회전운동)을 가속도로 감지하기 때문에 차량 동역학에서 가속도 성분을 운동판에 입력으로 가하게 된다. 이때 운동판은 운동한계를 가지고 있기 때문에 운동 명령이 운동한계내에서 유지할 수 있도록 명령을 수정하여야 하며 운전자의 운동감지 능력 또한 감지한계에 있기 때문에 운전자가 상대적으로 잘 감지할 수 있는 운동만을 추출하여 명령을 수정하게 되는데 이것을 워시아웃 알고리즘(washout algorithm)을 사용하여 구현하게 된다. 워시아웃필터를 사용하여 운전자가 잘 감지하는 힘 성분을 추출하게 된다. 이 값을 적분하여 이에 상응한 변위좌표계로 변환하게 되며 이 좌표계은 역기구학해석을 통해 실제 적용되는 액츄에이터 실린더의 변위 값으로 환산하게 된다. 최종적으로 이 실린더 변위값이 운동판의 명령으로 가해지며 제어기를 사용하여 이 변위 명령값을 추종하면 이 운동으로 증가되는 가속도 힘이 발생하여 운전자는 변위운동에 의해 발생한 힘을 감지하여 운동감을 느끼게 된다[7].

② 차량조건

차량조건메뉴는 Fig. 5와 같이 차량 동역학해석에 필요한 현가장치의 특성치 즉 차량의 중량 및 관성 등의 변수들을 입력 및 수정하는 부분이다.

이상의 차량조건에 근거하여 9자유도의 차량모델을 이용하여 동역학 해석을 수행하게 된다. 동역학 해석의 계산주기는 33ms이다. 차량동역학 해석에서 계산된 차량의 위치, 속도 및 가속도 정보는 적분을 통해 차량의 6자유도를 계산한 후 운동판 제어모듈로 전달된다. 운동판 제어모듈에서는 주어진 차량의 자세로부터 역기구학 해석을 통해 각 링크별 요구되는 길이를 계산하여 이를 모터제어기로 전달하면 모터제어기에서는 이를 펄스신호로 변환하여 모터를 제어하여 원하는 운동판의 자세를 구현하게 된다. 이러한 일련의 과정은 제어컴퓨터와 운동판 사이에 400Mbps USB통신을 통해 33ms 주기(30Hz)로 이루어진다.

③ 선로조건

선로조건메뉴는 Fig. 6과 같이 사용자가 직선구간길이, 곡선구간길이, 원곡선반경 및 곡선방향을 입력하면 이러한 조건에 따라 하나의 선로구간에 대한 데이터가 생성되고 이러한 곡선구간을 여러개 입력하게 되면 다양한 선로를 생성할 수 있다.

선로생성시 완화곡선의 길이는 Fig. 7과 같은 방법으로 산출된다. Fig. 7은 본 연구에서 직선구간과 원곡선구간 사이에 적용한 3차포물선 형태의 완화곡선이다. 는 완화곡선부를 의미하고 B점 이후는 원곡선부를 의미한다. 여기서 L은 완화곡선길이, R은 원곡선 반경, C는 캔트, X는 완화곡선상의 임의의 점 B'에서 x축에 투영된 길이, l, ρ 및 CX는 완화곡선상의 임의의 점 B'에서 곡선길이, 곡률반경 및 캔트를 의미한다. 완화곡선상의 임의의 점에서 곡률반경과 캔트는 아래 식과 같이 표현된다.

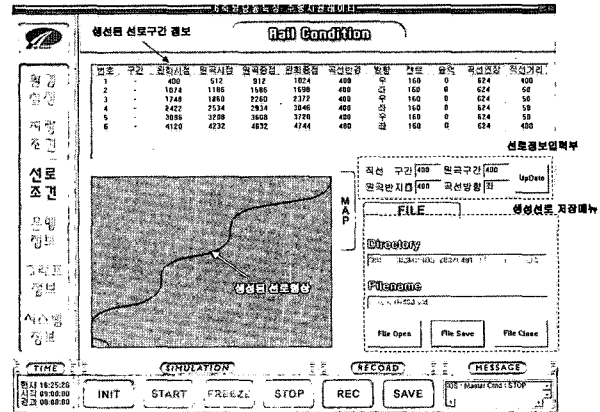


Fig. 6. Track generation menu

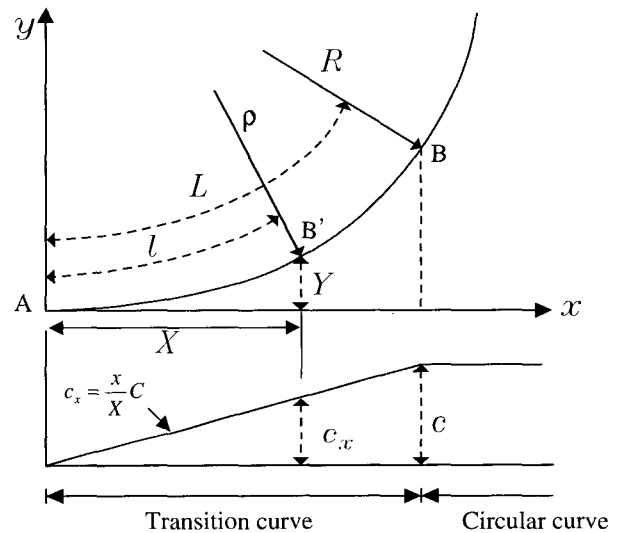


Fig. 7. Transition curve generation

$$c_x = \frac{x}{X} C \tag{1}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{RX} \tag{2}$$

그리고 3차포물선 완화곡선은 식 (3)과 같이 할 수 있다.

$$y = \frac{x^3}{6RX} \tag{3}$$

또한 완화곡선길이는 식 (4)에 근거하였다.

$$L = \frac{C \cdot n}{1000} \tag{4}$$

여기서 L은 완화곡선길이(m), C는 캔트(mm) 및 n은 고선등급별로 적용되는 캔트의 배수로 1급선은 1300, 2급선은 1000, 3급선은 700 및 4급선은 600를 적용하였다.

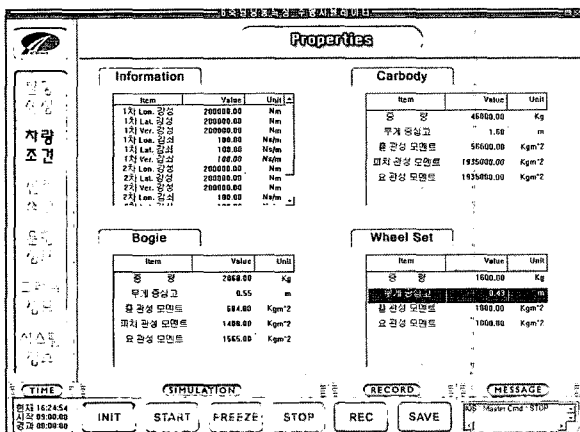


Fig. 5. Train properties menu

④ 운행정보

운행정보메뉴는 Fig. 8과 같이 시스템 운용 중 차량의 속도와 틸팅각이 계기형식으로 표시되며, 전체 운행예정구간에서 현재 차량의 위치가 계기 아래에 위치한 지도상에 실시간으로 표기된다. 또한 차량의 틸팅각 또는 롤각, 횡가속도, 캔트 및 곡선반경에 대한 정보가 실시간으로 2차원 그래프 형식으로 출력된다.

⑤ 그래프 정보

그래프 정보 Fig. 9와 같이 중요 변수들을 그래프로 출력함으로써 그 경향을 분석하기 위해 제공되는 화면이다. 최대 4개의 변수들에 대한 그래프를 동시 출력 할 수 있다.

⑥ 시스템 정보

시스템 정보메뉴는 Fig. 10과 같이 현재 시스템, 통신 및 운동판의 상태를 실시간으로 모니터링하는 메뉴를 제공한다.

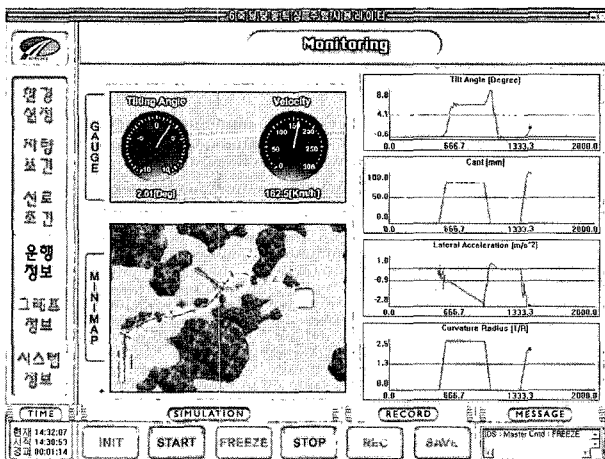


Fig. 8. Operation monitoring menu

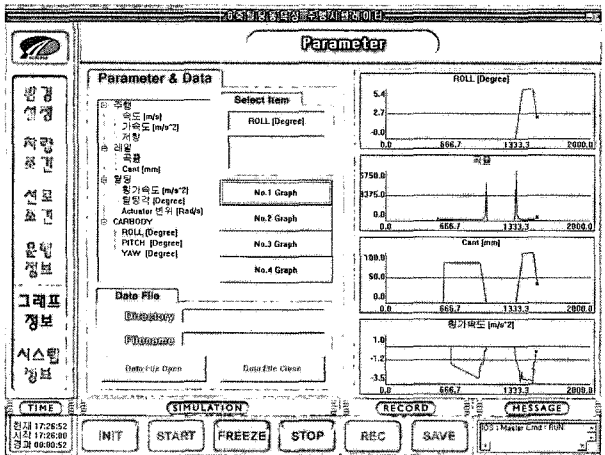


Fig. 9. Graph plot menu

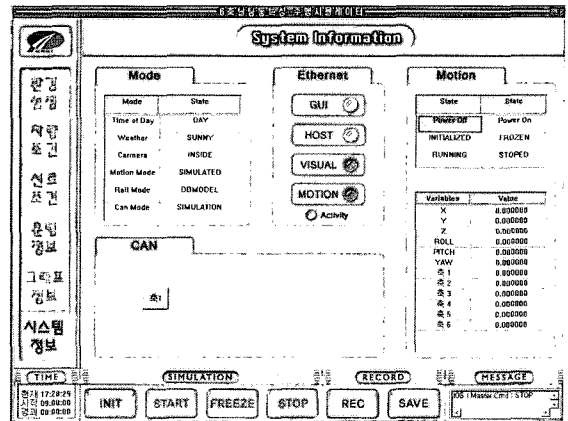


Fig. 10. System status menu

3. 가상현실 영상 시스템

가상현실 영상 시스템은 6자유도 운동판의 운동과 연동하여 탑승자에게 실제감과 몰입감을 극대화 시키기 위한 부분이다. 가상현실 영상시스템은 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데 하나는 소프트웨어적인 부분으로 실사 촬영된 영상을 3차원 그래픽 영상으로 변환하여 차량의 운행정보 및 운동판과 동기화되어 연동되도록 구성된 부분이다. 여기에서 실제적인 영상의 재생과 데이터를 저장하고 있는 부분이다. 두 번째로는 소프트웨어에서 생성된 영상데이터를 실제 가상현실 시스템의 체험자가 보고 느낄 수 있도록 출력시키기 위한 장치로서 일반적으로 프로젝트와 스크린으로 구성된다.

3.1 가상현실 영상 시스템

실시간 시뮬레이션기술은 1900년대 초반부터 개발되기 시작한 항공시뮬레이션에 바탕을 두고 발전해왔다. 실시간 차량 시뮬레이터를 위하여 사용되는 기술은 항공시뮬레이터의 구현기술과 유사한 구조를 가지고 있으나 구현의 방법에 있어서는 다소 차이를 가지고 있다. 시각적인 측면에서 현실감을 극대화하여야 하는 관점에서의 그래픽 데이터베이스의 구현목적은 동일하나 항공기용 시뮬레이터는 고공에서 비행하는 파일럿의 시야에 대한 현실감 확보를 목적으로 하므로 항공기용 시뮬레이터를 위한 데이터베이스의 구축목표는 광역의 데이터베이스를 구성하고, 대상물들의 특징들을 축약하여 많은 양의 대상물을 구현함에 목적을 두고 있다. 이로 인해 복잡한 지형 모델 등에 대한 해상도가 중요한 비중을 차지하고 있다.

반면 차량용 시뮬레이터는 사용자와 근접한 대상물 등에 대한 현실감의 극대화를 목표로 하고 있다. 따라서 항공용 시뮬레이터와 비교하여 상대적으로 협소한 지역이 대상물을 구현함을 목적으로 하므로 현실감을 극대화하는 대상물을

생성하는 모델링이 강조되어진다. 특히 차량용 시뮬레이터의 운전자는 주로 시각을 통해 주행상황 및 환경을 인지하므로 차량 시뮬레이터에서 운전자의 몰입을 유도하기 위하여 현실감 있는 그래픽 데이터베이스는 중요한 요소이다[8].

시뮬레이터의 운용목적에 적합하도록 구축된 그래픽 데이터베이스는 운전자에게 시각이미지를 제공하기 위하여 실시간 렌더링엔진을 필요로 한다. 실시간 렌더링 엔진은 구축된 데이터베이스의 3차원 정보를 기초로 하여 시각적 실시간 조건을 만족하도록 1초당 30프레임 이상의 화면 갱신률을 가지고 은면제거(hidden surface removing) 및 레이저라이즈하는 역할을 담당한다. 이미지 생성시스템에서는 구축된 그래픽 데이터베이스를 실시간으로 렌더링하기 위해 그래픽 라이브러리를 이용하여 프로그래밍 된 실시간 그래픽엔진을 사용한다. 본 연구에서는 PC기반의 이미지 생성시스템에서 3차원 이미지를 구현하기 위한 그래픽 라이브러리로 DirectX을 이용하였으며 1초당 30프레임의 화면 갱신률을 적용하였다. 영상시스템의 해상도는 800×600이다.

보다 현실감 있는 실시간해석을 위해서는 각 서브 시스템에서 데이터 획득과 제어가 동시에 이루어져야 하나 각 시스템의 운용 시간 및 데이터 전송지연에 따른 영향으로 전체 시스템의 운용에 있어 시스템 지연이 있을 수 밖에 없다. 본 연구에서 적용된 시스템은 모든 시스템이 30Hz단위로 동기화 된다. 따라서 메인 컴퓨터에서 계산된 차량동역학결과, 운동판의 역기구학해석 및 영상정보 등은 30Hz로 동기화된 후 각 모션베이스와 프로젝트로 전달된다. 그러나 그래픽화면의 시간지연과 운동판의 하드웨어적인 구동지연에 의해 모션동작, 영상출력 및 탑승자의 감지시간에는 시간지연이 존재하게 된다. 그래픽화면의 지연시간은 33ms나 운동판의 하드웨어적인 지연시간은 이 보다 큰 값을 가지나 정확한 지연시간은 측정이 어려웠다.

철도분야는 기존의 항공기나 자동차와는 운용환경이 확연히 다르다. 따라서 시뮬레이터의 현실감을 극대화하기 위해서는 철도분야에서 운용환경을 모의하기 위해 필수적인 요소들을 선정하고 이들을 3차원 그래픽으로 적절히 구현해야 한다. 따라서 본 연구에서는 현실감을 극대화하기 위해 현재 개발 중인 틸팅열차가 운행예정인 중앙선의 영주-안정-풍기 구간을 직접 답사하여 역사(station), 승강장(platform), 가선설비, 신호설비, 건널목, 선로, 터널 및 주변 환경들을 실사 촬영하여 이를 근거로 3차원 그래픽영상을 구성하였다.

Fig. 11은 현장에서 촬영된 철도관련 시설인 신호기, 건널목 설비, 의자, 전력설비의 3차원 그래픽 데이터베이스이다. 이러한 데이터베이스들은 가상현실 영상시스템의 여러 부분에 응용하여 실제감을 높일 수 있다.

Fig. 12는 본 연구에서 수행한 실영상의 3차원 그래픽영

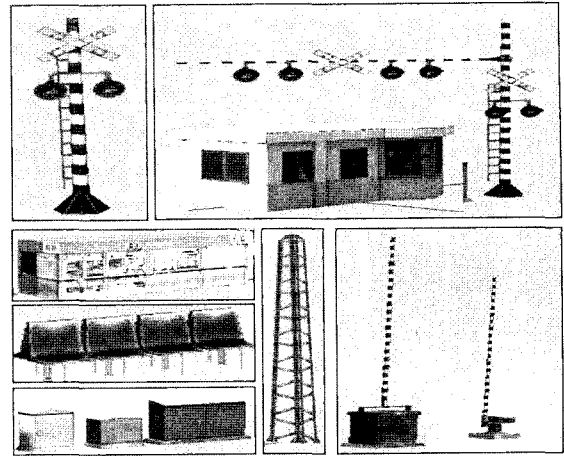


Fig. 11. Crossing and accessory

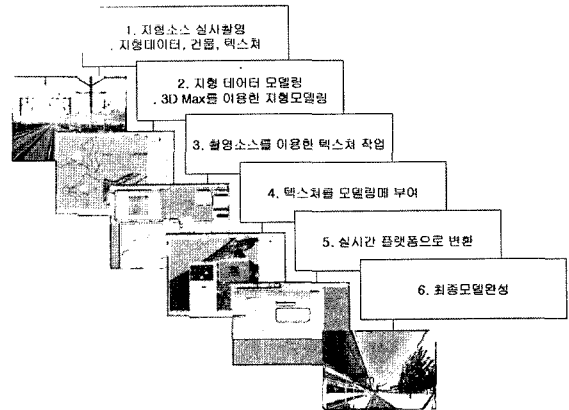


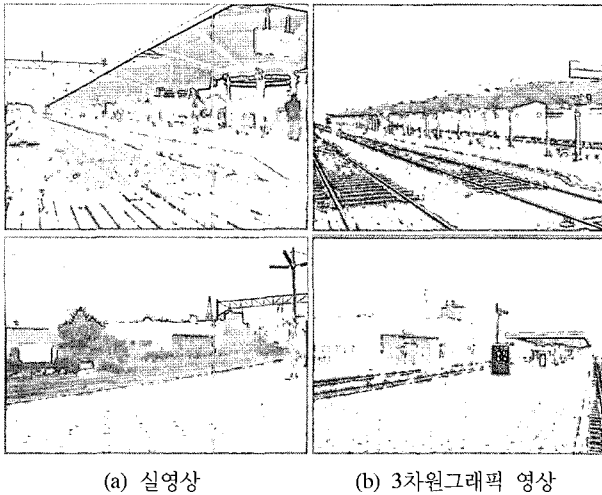
Fig. 12. 3D graphic database modeling procedure

상으로의 변환과정을 나타낸 것이다. 먼저 현장을 방문하여 실영상을 촬영하고 이를 근거로 대략적인 지형의 윤곽을 모델링한다. 촬영된 영상을 이용하여 텍스처(texture)를 생성하고 이렇게 구성된 텍스처를 각 구조물에 부여한다. 이렇게 생성된 영상 데이터베이스를 실시간 플랫폼으로 변환하면 실제 차량동역학과 운동판과 연동되어 하나의 가상현실 시스템을 구성하게 된다.

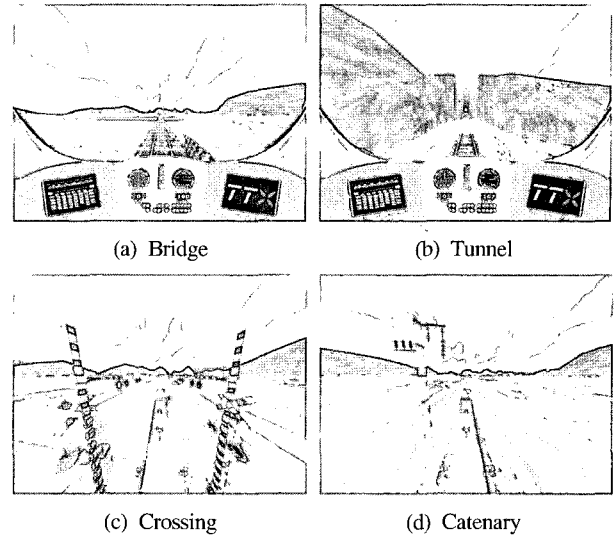
Fig. 13은 이러한 과정을 통해서 생성된 풍기 역사의 실영상과 3차원 그래픽 영상을 나타낸 것이다.

Fig. 14는 운전실의 모델링으로 차량의 속도 및 틸팅각을 실시간으로 표시하는 아날로그 및 디지털 계기판, 차량의 편성도 및 TTX 로고로 구성 된다.

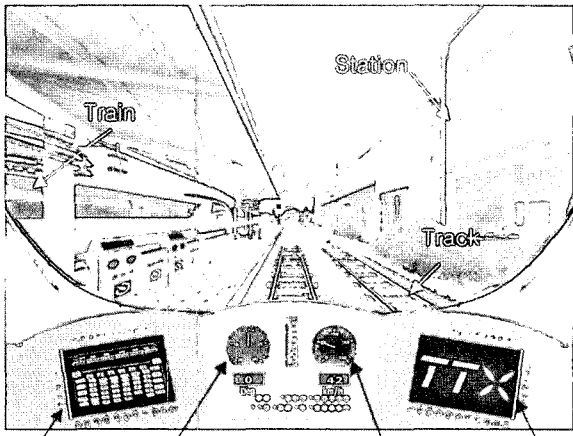
본 가상현실 영상시스템에서는 사용자에게 의해 생성되는 선로와 별개로 풍기-안정-영주구간을 실영상과 실측 선로데이터를 근거로 구현하였다. Fig. 15는은 이렇게 구축된 3차원 가상현실 영상을 나타낸 것이다. Fig. 16 (a)-(b)는 차량 운전석에서 철교 및 터널통과 모습을 나타낸 것이고, (c)-(d)



(a) 실영상 (b) 3차원그래픽 영상
Fig. 13. A real picture and a 3D graphic image for a station



(a) Bridge (b) Tunnel
 (c) Crossing (d) Catenary
Fig. 16. Various views during operation



Train formation Angle meter Speed meter TTX logo
Fig. 14. View of drive cab (inside view)

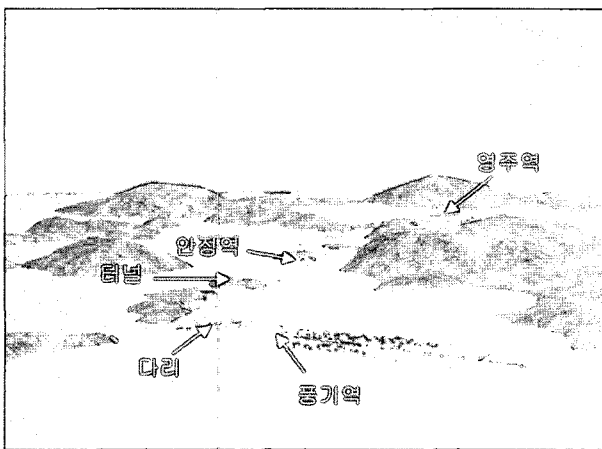


Fig. 15. Virtual reality image between Pyunggi station and Youngju station

는 외부의 관점에서 차량이 건널목 통과 및 가선설비와 집전장치부의 형상을 나타낸 것이다.

3.2 가상현실 출력장치

이상의 과정을 통해서 생성된 가상현실 영상은 직경 1600 mm 돔 스크린 및 Ultra Wide Angle Lens를 적용한 프로젝트를 이용하여 탑승자의 몰입감과 시야각(field of view)을 극대화하였다. 본 연구에 적용된 프로젝트는 기존 다채널 프로젝트와 달리 어안렌즈(fish eye lens)를 장착하여 단일채널로 구성되어 있다. 따라서 다채널프로젝트에서 발생하는 인접화소간의 휘도편차가 발생하지 않는다. 반구형 돔 스크린과 프로젝트를 이용할 경우 프로젝터 센터 기준 수평 시야각 170도 수직 시야각 135도를 구현할 수 있다.

일반적인 모니터나 스크린의 경우 사용자가 볼 수 있는 시야각이 매우 제한적이라 몰입감이 떨어진다. 그러나 수평 시야각 170도 수직 시야각 135도를 구현하는 돔 스크린을 사용함으로써 가상현실속의 몰입감을 한층 더 높일 수 있다. 본 연구에서 탑승자의 실제감과 몰입감을 극대화하기 위해 Fig. 17과 같이 돔 스크린 투사방식을 채용하였다.

4. 결론

본 연구는 현재 개발중인 한국형 틸팅열차의 거동을 모의하기 위해 개발된 틸팅차량용 시뮬레이터를 개발과 관련하여 시뮬레이터의 통제시스템과 현실감 극대화를 위한 가상현실 영상시스템을 개발하였다. 그 결과는 아래와 같다.

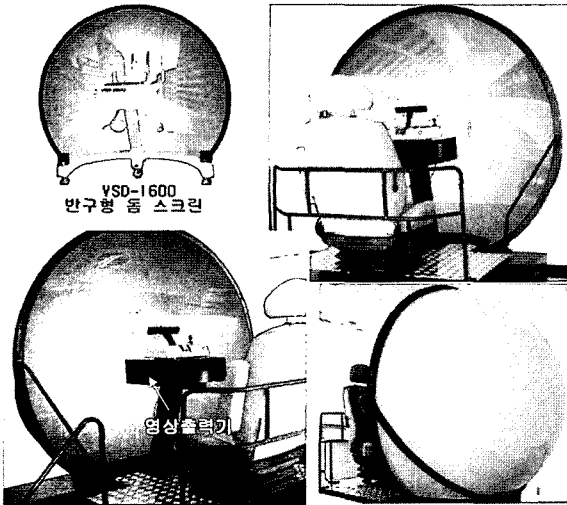


Fig. 17. A hemispherical screen

- (1) 시뮬레이터의 통제시스템은 사용자 편의성을 향상시키기 위해 비주얼 C++을 이용하여 윈도우메뉴형식으로 구성하였다. 통제시스템에는 시뮬레이터의 운영과 관련된 6개의 주요 메뉴설정기능을 부여하였다. 특히 차량의 동역학 해석을 입력치를 사용자가 쉽게 변경하여 다양한 설계변수조건에서 시뮬레이션이 가능하도록 하였다. 또한 임의의 곡선반경과 형상을 갖는 선로를 사용자가 쉽게 생성하도록 하여 다양한 선로조건에서 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.
- (2) 본 연구에서 6자유도 운동판의 운동과 연동하여 탑승자에게 실제감과 몰입감을 극대화시키기 위해 가상현실 영상 시스템을 개발하였다. 개발된 가상현실 영상 시스템은 기존 항공기나 차량 시뮬레이터와 다른 철도분야만의 독특한 운행환경을 현장답사를 통한 실사촬영을 통해 실제감 있게 구현하였다. 특히 선로, 역사, 플랫폼, 터널, 다리, 가선설비, 신호기 및 건널목 설비등 철도분야의 특성을 현실적으로 묘사할수 있는 부분들을 모델링하여 화면 갱신률이 1초당 30프레임이 되도록 재생하여 하였다.

- (3) 가상현실 영상의 출력은 직경 1600mm 돔 스크린 및 어안렌즈를 적용한 단채널 프로젝트를 이용하여 수평 시야각 170도와 수직 시야각 135도를 구현하여 탑승자의 몰입감을 한층 극대화하였다.

참고문헌

1. C. W. Chang, K. Son, K. H. Choi and N. Y. Song, 2000, "A Real-Time Graphic Driving Simulator Using Virtual Reality Technique", J. of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 7, pp.80-89.
2. Z. Y. Choi, G. Y. Lee, B. W. Seo, J. H. Kim and J. H. Kim, 2001, "The Analysis of the Dynamic Performance for the 6 axis Stewart Platform with Applying to the Driving Simulator", Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers, pp. 629-634.
3. M. W. Suh, T. Y. Koo, S. J. Kwon, Y. S. Shin, K. Y. Cho and D. Y. Park, 2002, "Development of the SVPG : System Configuration and Application of the Virtual Proving Ground", J. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 10, No. 1, pp. 195-202.
4. S. S. Kim, B. S. Sohn, K. J. Song and S. Y. Jung, 2002, "A Real-time Multibody Vehicle Dynamics and Control Model for a Virtual Reality Intelligent Vehicle Simulator", Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers, pp.847-854.
5. K. Son, S. H. Goo, K. H. Choi, W. S. Yoo, M. C. Lee and S. Y. Jung, 2001, "A Driving Simulator of Construction Vehicles", International Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 2, No. 4, pp.12-22.
6. M. S. Kim, D. Ahn and M. K. Ha, 2001, "Ship Motion Simulation Using a Virtual Reality Technique", Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 114-117.
7. J. S. Kim, N. P. Kim, Y. S. Song, S. H. Han and K. Y. Choi, 2005, "Development of a 6DOF Motion Platform for the Tilting Train Simulator", The Korean Society for Railway, Vol. 8, No. 1, pp.27-33.
8. 한국기계연구원, 1998, 자동차기반기술 확립을 위한 6축 운전모사 시스템 개발.