

바이모달 저상궤철차량의 자동운전시스템을 위한 시뮬레이터 구현

Implementation of Simulator for Navigation Control System of Bimodal Tram

류 제* 황병일* 이상남* 류희문* 변윤섭**
Ryu, Je Hwang, Byoung-II Lee, Sang-Nam Ryu, Hee-Moon Byun, Yeun-Sub

ABSTRACT

This paper discusses about the implementation of a simulator for the Navigation Control System(NCS) of bimodal tram. To operate a NCS of bimodal tram, values of all sorts of sensors installed in bimodal tram should be transmitted to the NCS, and the NCS calculates the measured sensor values to determine traveling direction, traveling speed, current position etc. The implementation of the simulator consists of a device applying driver's input transaction function & virtual sensor program and a sub-rack device that controls communication with the NCS to evaluate navigation control function. The virtual sensor program can create routes (map), traveling profiles & seat information et cetera in order to transmit to the NCS, analyzes driver's input values and NCS output values to create virtual sensor values. The sub-rack device takes charge of communication with the NCS using CAN-OPEN, CAN-J1939, MVP protocols. This paper discusses about the implementation of the simulator and afterwards analyzes and evaluates the NCS simulation results.

1. 서 론

본 논문에서는 바이모달 저상궤철 차량의 자동운전시스템(Navigation Control System : 이하 NCS) 기능을 시험하기 위한 시뮬레이터의 구현에 관하여 논한다. 바이모달 저상궤철차량의 자동운전기능이 동작하기 위해서는 차량에 설치된 각종 센서들의 측정값이 자동운전시스템으로 전달되어야 하며, 자동운전 시스템은 측정된 센서 값들을 계산하여 주행방향, 주행속도, 현재 위치 등을 결정한다. 시뮬레이터는 자동운전 기능을 시험할 수 있도록 운전자의 입력 처리 기능 및 가상 센서 프로그램을 운용하는 장치와 자동운전시스템과의 통신을 담당하는 서브랙 장치로 구성한다. 가상 센서 프로그램은 바이모달저상궤철 차량의 주행이 가능하도록 운행경로(지도), 주행프로파일 및 자석정보 등을 생성하여 자동운전시스템에 전달하는 기능과, 운전자의 입력 및 자동운전시스템의 출력값을 분석하여 가상의 센서 값들을 생성하는 기능을 전담한다. 서브랙 장치는 CAN-OPEN, CAN-J1939, MVB의 프로토콜들을 이용하여 자동운전시스템과 통신을 담당한다. 본 논문에서는 시뮬레이터의 구현에 대하여 논하고, 자동운전 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 분석 및 평가한다.

2. 배 경

*한터기술, 부설연구소

E-mail : jryu@htt.co.kr

TEL : (02)2108-2200 FAX : (02)2108-2211

** 한국철도기술연구원, 바이모달 수송시스템 연구단

E-mail : ysbyun@krri.re.kr

TEL : (031)460-5437 FAX : (031)460-5649

본 절에서는 시뮬레이터를 구현하고 대상 시스템의 시험 모델을 구성하기 위한 일반적인 방법에 대하여 고찰하고자 한다. 시뮬레이터를 이용한 대상 시스템의 시험 모델을 구성함으로써 얻을 수 있는 이점으로는 여러 가지가 있는데, 우선 시뮬레이션을 통하여 대상 시스템을 보다 잘 이해할 수 있게 되며, 부정확한 데이터에 대한 예측이 가능해 진다는 점이다. 또한, 대상 시스템에 대한 정확도가 어느 정도 높은 시뮬레이션 모델을 만들게 되면 대상시스템의 문제 개선에 대한 많은 방법들을 미리 가상으로 적용해 보는 것이 가능하다는 장점이 있다.

시뮬레이터를 이용하여 대상 시스템의 시험모델을 구성하는 일반적인 단계는 다음과 같다.

- 1) 적합한 시험 시나리오 및 파라미터의 선정
- 2) 모델링 및 실제 데이터와의 검증을 통한 튜닝
- 3) 시뮬레이션 결과의 해석

시뮬레이션 모델은 대개의 경우 오차가 발생할 수 있는 여러 요소들이 있다. 물리적인 속성 모델에서의 오차, 부정확한 운전 데이터의 사용으로 인한 오차 등 많은 요소들이 부정확한 시뮬레이션 모델 구성의 원인이 될 수 있으며, 이러한 부분들에 대한 세밀한 분석을 통하여 모델의 정확도를 계속 높여가는 작업이 가장 중요한 작업이 된다.

3. 서 론

본 절에서는 바이모달 저상굴절차량의 자동 운전 시스템을 시험할 수 있는 NCS Simulator의 구현 내용을 다룬다. NCS Simulator는 NCS가 실제처럼 동작하도록 NCS와 연결된 장치들로부터 계산된 시뮬레이션 데이터를 입력으로 전달하고, 전달받은 입력 데이터에 대한 NCS의 출력데이터를 평가하고 계산하여 사용자에게 차량의 현재 상태를 보여줄 수 있도록 한다. 또한 계산된 결과를 이용하여 다시 시뮬레이션 데이터를 생성하여 바이모달 어플리케이션에 입력으로 전달한다.

3.1 시스템 구성

본 논문에서 구현하는 시뮬레이터의 구조는 그림 1과 같다. 시뮬레이터는 크게 3 부분으로 구성된다. 첫째는 GUI 부분으로써, 차량의 운전석에 해당하는 역할을 담당한다. 즉, 차량의 현재 속도, 현재 위치 정보 등의 디스플레이 기능과 운전자의 입력에 해당하는 바이모달 저상굴절차량의 운전자가 입력하는 내용과 동일한 기능을 수행한다. 둘째는 센서 시뮬레이션 부분이다. 센서 시뮬레이션이란 사용자의 입력과 시뮬레이션 시나리오 데이터(주행프로파일, 도로정보, 자석정보 등)와 NCS에서 출력된 현재위치, 현재속도, 조향각 등의 정보를 참조하여 차량의 현재 상태에서 발생할 수 있는 센서 신호들을 생성하는 기능을 담당한다. GUI와 센서 시뮬레이터는 PC 기반으로 구현되었다. 마지막으로 통신을 담당하는 부분이 있다. 통신을 담당하는 부분은 Sub-Rack 형태로 구현되었으며, CAN-Open, CAN-J1939, MVB 통신 프로토콜을 이용하여 NCS에 시뮬레이션 데이터를 전송하고 그 처리 결과를 NCS로부터 전송받아 GUI 와 센서 시뮬레이션 부분에 전달하는 역할을 담당한다.

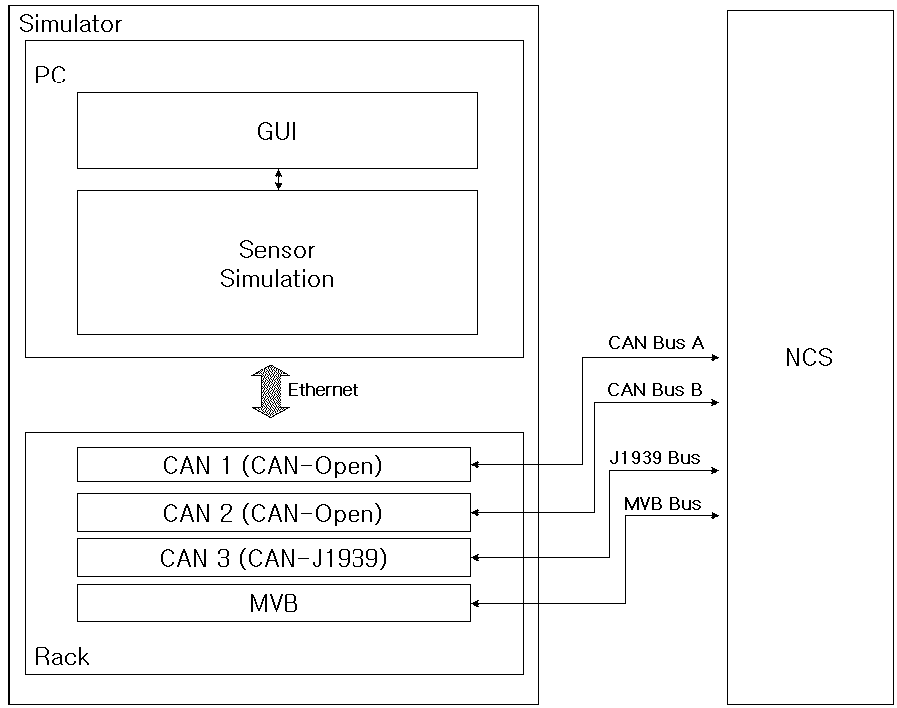


그림 1. 시뮬레이터 구조

3.2 시뮬레이션 데이터

시뮬레이터는 NCS에게 각각의 통신 프로토콜을 이용하여 해당 데이터를 정확하게 전달하고, 이를 NCS가 처리하여 그 결과를 NCS Simulator에 전달한다. 특히 NCS로부터 전송되어진 데이터는 다시 NCS Simulator 내부에서 처리하여 새로운 데이터를 생성하여 NCS로 전달하여야 한다. 이러한 일련의 반복과정을 수행함으로써 시뮬레이션이 이루어지며 그 형태는 그림 2와 같다.

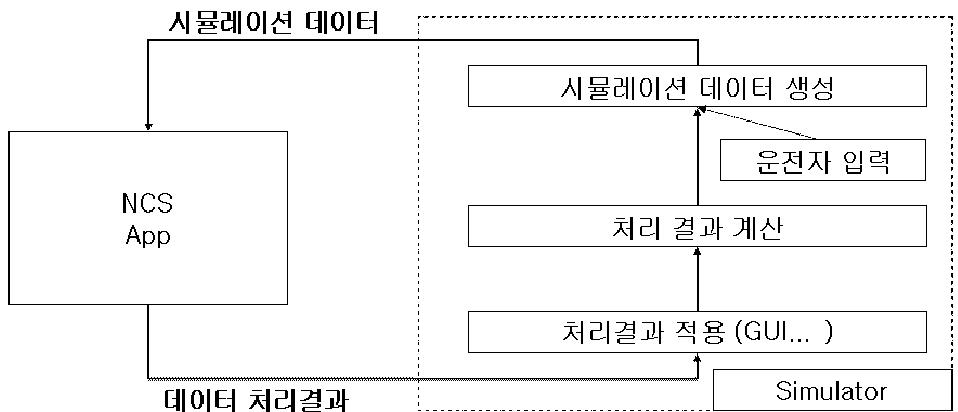


그림 2. 시뮬레이션 데이터 흐름도

NCS는 주요기능은 차량의 현재위치, 조향각, 추진토크 및 현재 속도를 계산하고 계산된 결과를 각각의 장치에 전송하는 기능을 담당한다. 따라서 본 논문에서 구현된 시뮬레이터는 NCS가 각각의 계산을 수행하는데 필요한 데이터를 생성하여 입력데이터로 전달하고 이를 이용하여 다음 데이터를 반복적으로 생성한다.

3.2.1 현재위치 계산

NCS는 차량의 현재 위치를 계산하기 위하여 차량의 속도, 이전 위치, 조향각 등의 정보를 이용하여 현재 위치를 계산한다.

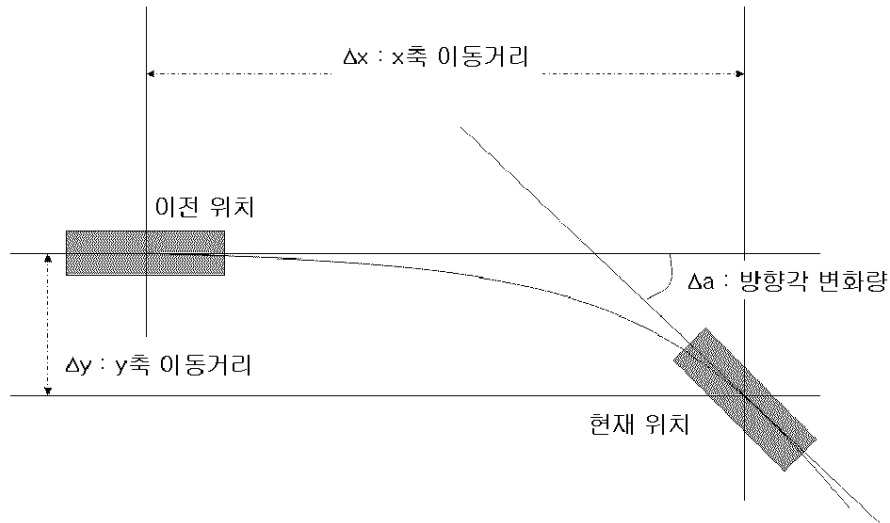


그림 3. 현재 위치 계산

그림 3은 차량의 위치이동을 도식화 한 것이다. 그림 3을 기준으로 현재 위치를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\Delta x = distance + \sin(\Delta a) \quad (\text{수식 1})$$

$$\Delta y = distance + \cos(\Delta a) \quad (\text{수식 2})$$

$$distance = \Delta velocity \times \Delta time \quad (\text{수식 3})$$

수식 1, 2, 3을 계산하기 위해서는 NCS에 필요한 파라미터들이 입력되어야 하며, 이를 위해서 시뮬레이터는 그림 4의 과정을 거쳐 파라미터를 NCS에 전달한다.

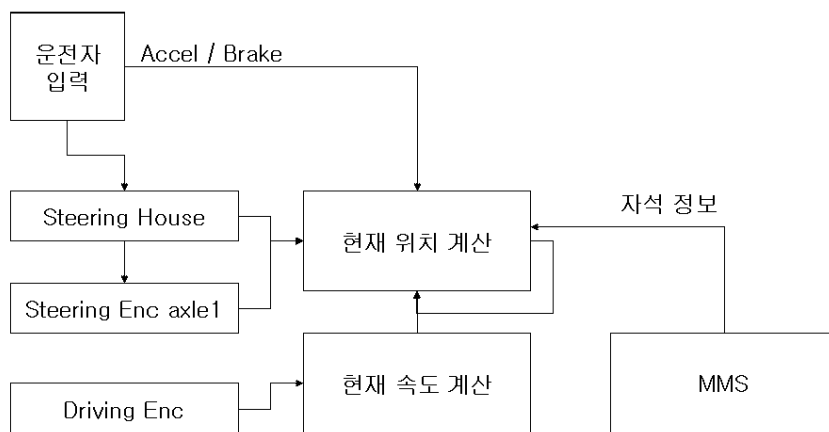


그림 4. 현재 위치 계산을 위한 시뮬레이션 데이터 전달

그림 4에서 Steering House와 Steering Enc axle1은 차량의 조향각을 나타내며, NCS는 주행 프로파일의 정보를 이용하여 차량의 진행방향(좌표계 기준 절대방향)을 계산한다. Driving Enc는 타코메타를 의미하며 차량의 속도를 계산하는데 이용된다.

3.2.2 조향각 계산

조향각은 운전자에 입력에 의한 수동 조향과 주행 프로파일에 따른 자동 조향에 따라 시뮬레이터의 동작에 차이가 존재한다. 수동 조향의 경우 NCS에 의해 계산된 조향각은 무시되며, 자동 조향의 경우에는 NCS의 데이터를 이용한다. 시뮬레이터에서 데이터를 생성하고 NCS에 전달하는 과정은 그림 5와 같다.

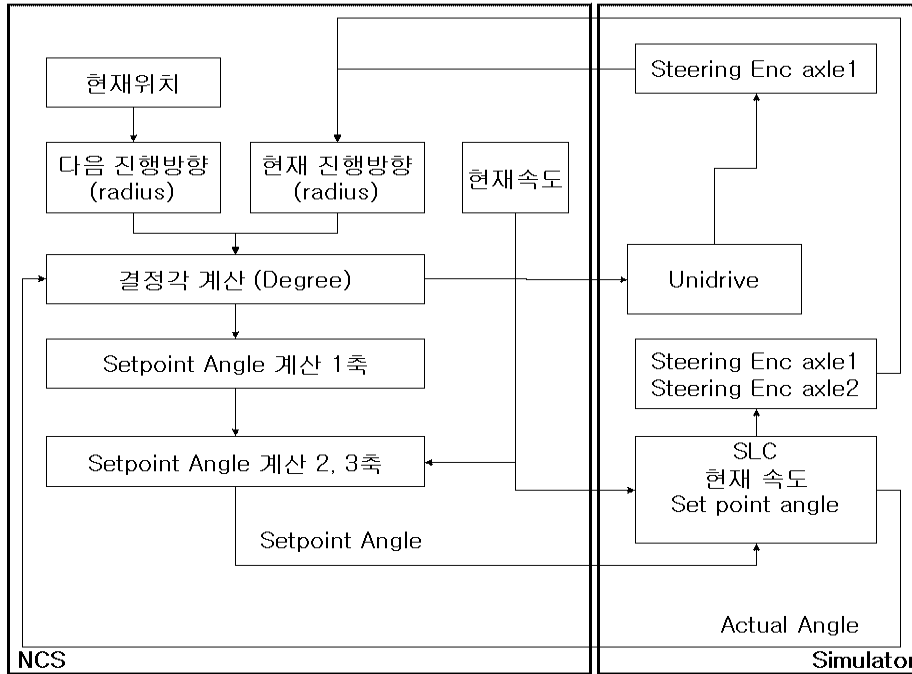


그림 5 조향각을 위한 시뮬레이터 데이터 생성

그림 5에서 시뮬레이터는 NCS가 계산한 차량의 1축 조향각은 시뮬레이터 내부의 1축 조향 모터(Unidriver)로 전달되며 이를 이용하여 시뮬레이터가 실제 1축 조향각을 계산하여 다시 NCS로 전달한다. 2축과 3축의 경우 NCS의 계산 결과가 시뮬레이터 내부의 자동조향장치(SLC) 데이터로 전달되며 1축의 경우와 동일한 과정을 거쳐 NCS로 전달된다.

NCS는 현재 위치를 기준으로 주행프로파일에 입력된 차량의 주행 방향각을 이용하여 차량의 회전각(조향각에 의해 차량이 회전하는 각도)을 계산한다.

3.2.3 추진토크 계산

추진토크도 조향각과 마찬가지로 수동 추진과 자동 추진에 따라 시뮬레이터의 동작에 차이가 존재한다. 수동 추진의 경우에는 사용자가 입력한 액셀레이터의 값을 기준으로 NCS가 이를 토크값으로 변환하여 시뮬레이터에 내부의 추진제어장치(TPLC)에 전달한다. 시뮬레이터는 TPLC에 전달된 토크 값을 실제 토크값으로 간주하여 이를 NCS에 전달함과 동시에, 속도매핑 테이블을 이용하여 토크값으로부터 가상 속도를 도출하여 이에 해당하는 타코 값을 시뮬레이터 내부의 Driving Encoder의 값을 설정하고 NCS에 전달한다.

자동 추진의 경우에는 NCS가 사용자의 입력대신 주행 프로파일에 설정된 목표 속도를 현재위치를 기준으로 설정하여 현재 속도와 비교하여 적정량의 토크값을 계산하여 시뮬레이터 내부의 추진제어장치(TPLC)에 전달한다. 이후의 과정은 수동 추진과 동일하며 그림 6의 형태로 이루어진다.

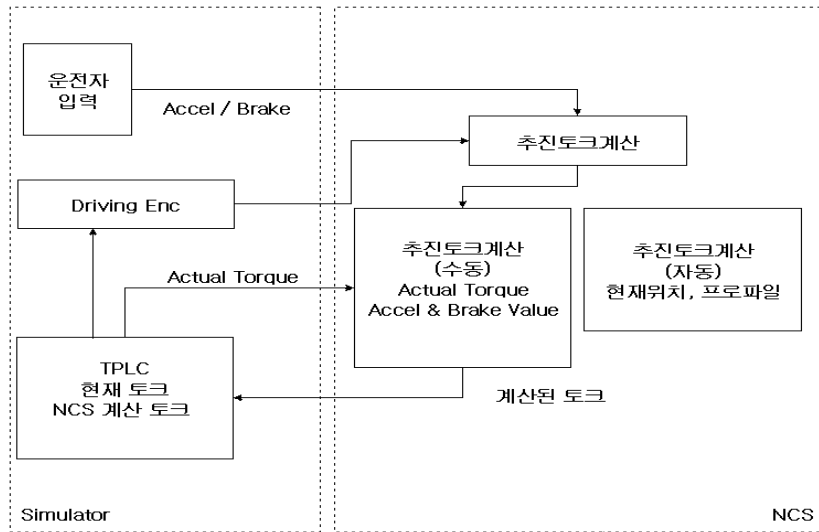


그림 6 추진 토크 계산을 위한 시뮬레이터 데이터 생성

4. 실 험

본 절에서는 구현된 시뮬레이터를 시험하기 위해서 시나리오와 설정데이터들을 정의하고 NCS의 기능을 시험하였다.

4.1 시뮬레이션 기본 요소

NCS Simulator를 구동하기 위해서는 다음과 같은 기본 요소가 사전에 정의되어야 한다.

- 가. 가상 지도
- 나. 운행구간 프로파일
- 다. 운행구간별 자석 정보

4.1.1 가상 지도

가상 지도는 바이모달 저장궤절차량이 운행될 공간을 정의한다. 이는 시뮬레이션 과정에서 차량의 현재위치를 계산하고 또한 이를 화면에 보여주기 위해서도 반드시 정의되어야 한다. 좌표계를 가지고 있으며, GUI와 밀접한 연관성을 가진다. 가상 지도의 영역은 최소한 반경 8-10km의 크기를 가진다.

4.1.2 주행 프로파일

운행 구간 프로파일은 바이모달 저장궤절차량이 지정된 출발지부터 목적지까지 어떠한 경로로 운행해야 하는지를 정의하고 있다. 시뮬레이션을 위해서는 각각의 가상지도에 해당하는 주행 프로파일을 작성하여야 한다. 주행 프로파일의 내용은 다음과 같다.

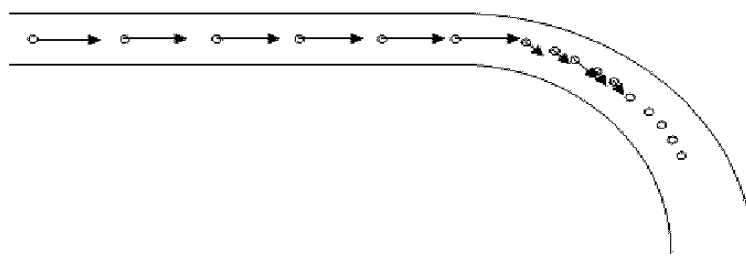


그림 7 주행 프로파일 예

- 가. 그림에서 각각의 점은 스케줄 포인트가 된다.
- 나. 스케줄 포인트의 거리는 직선 구간에서는 꽤 긴 거리를 유지할 수 있다.
- 다. 커브 구간에서는 스케줄 포인트의 간격이 좁아진다.
- 라. 회전각이 클수록 즉 직각에 가까울수록 간격이 좁아진다.
- 마. 자석의 거리는 스케줄 포인트와는 무관하게 4미터 간격으로 설정된다.

```

V0.1
l_to_2 (구간명)
#-----
property: blink_instruction_0 5970.000 1000.000 6.2831 left (자동 운전시 좌회전 시그널)
property: blink_instruction_1 6000.000 1030.000 4.7123 none
#-----
l_to_2
15.00
-0.30
#-----
1000.000 1000.000 6.2831 10.00 15.00 ==> 스케줄 포인트
1020.000 1000.000 6.2831 10.00 15.00
1040.000 1000.000 6.2831 10.00 15.00
(x좌표) (y좌표) (진행각)(일반, 최대 속도)

```

표 1. 주행 프로파일 예

4.1.3 자석 정보

운행구간별 자석 정보는 실제 및 시뮬레이션 환경에서 자동운전 주행을 수행하기 위한 가장 중요한 요소 중의 하나이다. NCS에서는 자석 신호가 입력 될 때마다 자석 정보에서 위치 정보를 활용하여 현재 위치를 계산하는데 이용한다. 시뮬레이터는 NCS로부터 전달 받은 현재 위치 정보와 자석 정보를 비교하여 MMS 신호를 생성하는데 이용한다.

4.2 시나리오

시뮬레이션 시나리오는 각각 다음과 같이 정의하였다.

- 가. 수동운전 시뮬레이션
- 나. 자동운전 시뮬레이션

4.2.1 수동운전 시나리오

- ① 지도상의 출발점에 차량을 위치시킨다.
- ② 사용자가 운전석의 조향 및 액셀/브레이크 등을 조작한다.
- ③ 차량을 자석 부근으로 이동시킨다.
- ④ 자석을 따라 지속적으로 차량을 이동 시킨다.
- ⑤ 도로를 따라 계속 주행한다.
- ⑥ 차량을 목표 지점까지 이동시킨다.
- ⑦ 시나리오 종료

4.2.2 자동운전 시나리오

- ① 차량을 출발지 부근에 위치시킨다.
- ② 차량을 수동모드(초기값)로 출발지 까지 이동시킨다.

- ③ 자동운전 버튼 클릭
- ④ 계속 주행
- ⑤ Recovery 버튼 클릭
- ⑥ 일부 신호 제거
- ⑦ 곡선로 주행
- ⑧ 목표지점 도달시까지 계속 주행
- ⑨ 시나리오 종료

4.3 시뮬레이션

그림 8은 본 논문에서 구현된 시뮬레이터를 4.1절과 4.2절에서 언급한 시나리오를 기반으로 시뮬레이션을 수행하는 모습을 보여준다.

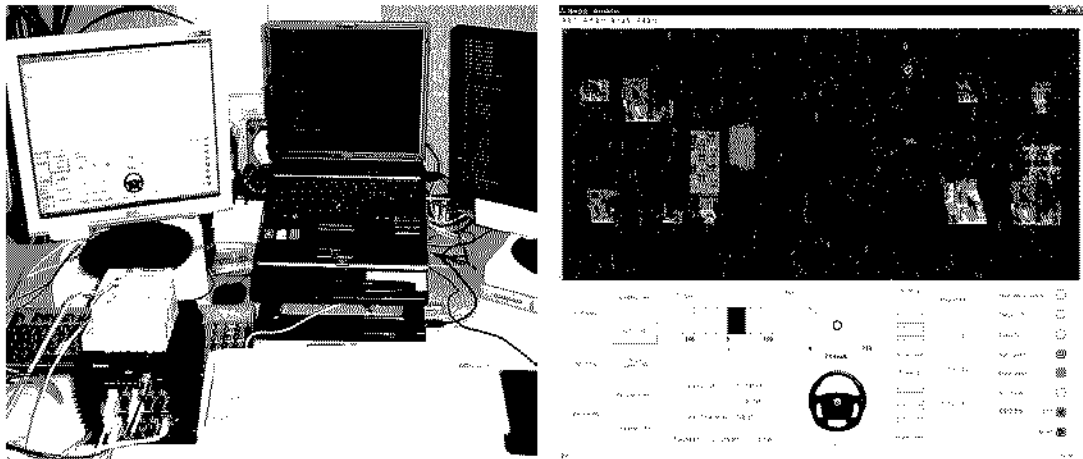


그림 8 시뮬레이션 수행 화면

5. 결 론

본 논문은 바이모달 저상굴절차량의 자동운전시스템의 동작을 시험할 수 있는 시뮬레이터를 구현하였다. 구현된 시뮬레이터는 바이모달 저상굴절차량의 운전모드별(자동, 반자동, 수동)로 시뮬레이션이 가능하도록 각각의 운전모드에 맞는 가상의 데이터를 생성할 수 있도록 구현되었다. 시뮬레이터는 구현된 자동운전 시스템을 실차에 장착하여 테스트하기전에 발생할 수 있는 오류를 최소화하기 위하여 개발 되었다. 시뮬레이터의 실험 결과, 자동운전시스템의 성능을 객관적으로 평가하고 향상 시킬 수 있도록 하기 위해서는, 보다 다양한 시뮬레이션 시나리오와 가상의 데이터의 정확성을 보다 향상시킬 수 있도록 보완해야 될 것으로 보이며, 자동운전시스템의 성능을 평가할 수 있는 평가 프로그램을 추가 또한 필요한 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. 이상남, 류희문, 변윤섭, 목재균 (2008), “자동 운행 차량의 주행라인 제어시스템 및 그 방법”, 특허출원번호 10-2008-96295.
2. Steven E. Shaladover, Xiao-Yun Lu, Bongsob Song (2005), "California Partners for Advanced Transit and Highways(PATH)", Research Reports, University of California, Berkeley.
3. 신한순, 원충연 (2001), “승차감 향상을 위한 자동열차운전시의 제어패턴에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회, 학술지논문 pp49-56
4. 한성호, 윤용기, 안태기, 김원경, 조연옥 (1998), "전동차의 자동운전제어 시스템에 관한 시뮬레이션 기술", 한국철도학회 학술발표대회논문집 pp255-261
5. 문경호, 목재균, 장세기, 이수호, 박태원(2007), “조향제어를 위한 가상교정축 설정방법”, 한국철도학회 추계학술발표 논문집.
6. 이강원, 윤홍일, 목재균(2007), “바이모달트램 차량제어장치에 대한 CAN통신방식 적용에 관한 연구”, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집.
7. 목재균, 윤희택(2006), “신에너지 바이모달 트램 기술개발”, 교통기술과 정책 3권 4호. 8. 목재균, 김용기, 유영재(2004), “정밀정차를 위한 전자기 안내궤도기술 개발”, 한국철도기술 50호.