

자율주행 평가용 가상주행환경 구축 방법론에 대한 연구

강 원 울¹⁾ · 조 재 훈¹⁾ · 이 민 기¹⁾ · 강 대 오¹⁾ · 현 민 수²⁾ · 허 승 진³⁾자동차공학연구소 FVR팀¹⁾ · 국민대학교 자동차공학전문대학원²⁾ · 국민대학교 자동차융합대학³⁾

A Study on the Methodology to Develop Virtual Drive Environment for Autonomous Driving Evaluation

Wonyul Kang¹⁾ · Jaehun Jo¹⁾ · Minki Lee¹⁾ · Daeoh Kang¹⁾ · Minsu Hyun²⁾ · Seungjin Heo³⁾¹⁾FVR Team, Institute of Vehicle Engineering, 77 Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 06651, Korea²⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea³⁾College of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

(Received 18 January 2021 / Revised 16 February 2021 / Accepted 7 March 2021)

Abstract : Autonomous Driving(AD) evaluation based on real vehicle tests takes many hours and has many restrictions. This paper presents a methodology for the development of a virtual driving environment that can replace the real vehicle test. When developing a virtual driving environment, it is important to develop the same virtual element model(Road, Vehicle model, etc.) as that in the real world. Thus, the high-occupancy BRT(Bus Rapid Transit) bus route in Cheongna zone was modelled using the Mobile Mapping System(MMS) as the openDRIVE format, which is the ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) road standard. In addition, we developed a vehicle model that simulates the dynamic performance of BRT based on Modelica language. Finally, we developed an interface module that integrates the virtual environment, the vehicle model, and the driver model. In conclusion, this paper presents a virtual test drive platform for AD evaluation.

Key words : Virtual test drive(가상주행환경), OpenDRIVE(오픈드라이브), OpenSCENARIO(오픈시나리오), Mobile mapping system(모바일 맵핑 시스템), Vehicle dynamics model(차량 동역학 모델), Autonomous driving(자율주행)

Nomenclature

F_0	: nominal preload force
P_0	: nominal pressure when uncompressed
V_0	: nominal volume of below
V	: volume
n	: polytropic coefficient
P_{am}	: surrounding pressure
A_v	: nominal effective area with respect to volume
A_f	: nominal effective area with respect to load
C_k	: constant pressure spring rate
dP	: pressure differential value
F_s	: force from spring
F_p	: force from pressure

1. 서론

최근의 자율주행 선두업체는 자동차 제작사가 아닌 IT 업체 또는 벤처기업들이다. 아래의 Table 1은 매년 미국 캘리포니아주에서 발간되는 Disengagement Report 2019이다. 이 리포트에서는 캘리포니아에서 시험중인 자율주행차의 제어권 전환 횟수 및 자율주행모드로 주행한 거리 정보를 제공한다.

Table 1에서 바이두 및 구글의 웨이모 차량이 자율주행해제건수 대비 주행거리가 길며 이는 자율주행자의 제어권 전환 없이 운행한 거리가 긴 것을 의미한다. 오랜 기간 자동차를 개발해온 자동차 제작사가 아닌 IT 업체들이 자율주행차량 개발의 선두를 차지하고 있는 이유는 자체 가상주행환경을 적극적으로 활용하여 자율

*Corresponding author, E-mail: sjheo@kookmin.ac.kr

[†]This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

Table 1 California disengagement report 2019

Manufacturer	Annual total of disengagements	Annual total miles	Miles per disengagement
Baidu	6	108,300	18,050
Waymo	110	1,454,137	13,219
CRUISE	68	831,040	12,221
AutoX	3	32,054	10,684
Pony.ai	27	174,845	6,475
Nuro	34	68,762	2,022
Zoox	42	67,015	1,595

주행차를 가속개발하고 있기 때문이다. 구글 웨이모의 경우 카크레프트(Carcraft) 소프트웨어를 활용하여 실차에서는 테스트할 수 없는 엣지 케이스를 검증하고 하루에 800만 마일 이상을 가상에서 주행하며 테스트를 수행하고 있다. 이는 실차가 연 300만 마일을 주행할 수 있는 것과 비교할 때 가상에서는 실차가 1년에 주행할 수 있는 거리의 약 3배의 거리를 하루만에 주행하는 거리이다. 따라서 가상주행환경기반의 자율주행로직 가속 개발은 필수이다.¹⁾

가상주행환경은 도로 네트워크/로직, 도로 표면, 교통 흐름, 차량동역학 모델, 운전자 모델, 날씨 모델, 센서 모델 등의 기반요소로 구성된다. 기존 연구는 인위적인 도로 모델을 생성 후 대표 시나리오를 평가해 왔으며 차량 동역학 모델의 경우 저자유도 차량모델을 적용하여 차량의 응답에 대한 거동을 반영하지 못하는 문제점이 있었다.²⁾ 여기서 차량의 응답성이란 차량의 조향 및 가감속 페달 입력에 대해 차량이 응답하기까지의 시간 및 거동을 의미한다. 차량의 응답에 미치는 요소는 타이어, 동력계, 현가 장치의 구조 및 특성에 의해 결정되며 수학적 차량 모델 및 저자유도 차량모델의 경우 입력에 대한 차량의 응답 특성을 재현하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 대표 시나리오 기반 자율주행 평가방식의 대안으로 주행 거리 기반의 랜덤 트래픽 상황에서 제어로직을 평가할 수 있는 가상주행환경과 실차의 차량 응답 및 동특성을 반영할 수 있는 차량모델 구축 및 연동 기법을 제시한다.

가상주행환경을 실제 개발프로세스에 활용하기 위해서는 가상주행환경을 구성하는 기반요소가 실제환경을 고정도로로 모사해야 한다. 따라서 본 연구에서는 도로모델의 경우 MMS(Mobile Mapping System) 장비를 활용하여 도로를 스캔 및 가상화했다. MMS 장비를 활용 시 도로의 고도 및 뱅크각까지 모사하는 고정도 도로 모델을 구축할 수 있다. 차량모델은 Modelica 기반으로 구축하였으며 실차시험을 통해 모델 정확도를 검증하였다.

또한 본 연구에서 개발되는 가상주행환경은 활용성을 위해 ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)에서 정의한 시뮬레이션 표준으로 개발하였다. ASAM에서 정의하는 시뮬레이션 표준은 도로의 경우 openDRIVE, 도로표면은 openCRG, 시나리오인 openSCENARIO이다. 자세한 연구 순서는 다음과 같다.

본 연구는 인천 청라지구에서 운행중인 대용량 굴절형 BRT(Bus Rapid Transit)의 자율주행로직을 가상에서 평가하기 위하여 진행하였다.

연구의 순서는 첫번째로 고정도 가상주행환경을 구축하였다. MMS기반으로 청라지구의 BRT 노선을 스캐닝하였다. 스캐닝 데이터에서 도로정보를 추출하여 openDRIVE 파일을 모델링하였으며 실도로를 가상화하였다. 다음으로 BRT 주행노선을 주행하는 시나리오 모델을 구성하였다. 본 연구에서는 VTD(Virtual Test Drive)에서 지원하는 Pulk traffic(Random traffic)을 활용하여 제어차량(Ego car) 주위에 트래픽 모델을 생성하였다. 드라이버 모델은 개발 및 평가하고자 하는 자율주행 로직이며 본 연구에서는 VTD에서 제공하는 자율주행로직을 활용하였다. 자율주행시 사용되는 센서 모델은 VTD에서 제공하는 Perfect 센서를 활용하여 Object list 정보에 따른 자율주행을 수행하였다.

두 번째는 모델리카(Modelica) 기반 고정도 차량동역학 모델 개발이다. 실제 BRT 차량의 동역학 성능을 반영하기 위해 1D 해석 시뮬레이션 소프트웨어인 다이몰라(Dymola)를 활용하여 차량동역학 모델을 모델링하였다. 또한 모델 응답성 검증을 위해 BRT 핸들링 시험을 수행하였으며 이를 기반으로 개발된 모델을 검증하였다.

세 번째는 가상주행환경과 3rd part 차량동역학모델 연동을 위한 인터페이스 모듈을 개발하였다. 인터페이스 모듈은 UDP(User Datagram Protocol) 기반의 통신기반으로 VTD 및 다이몰라 차량 모델간의 데이터를 연동한다.

마지막은 실제 BRT 차량의 운전석 Mock-up을 제작하였으며 본 연구에서 구축된 가상주행환경을 드라이빙 시뮬레이터 기반으로 평가할 수 있는 환경을 구축하였다.

본 연구에서는 표준화된 고정도 가상환경을 개발하였다. 또한 실제 운행중인 대용량 BRT의 고정도 차량 동역학 모델을 개발하여 가상에서 대용량 BRT 자율주행로직을 평가할 수 있는 플랫폼을 개발하였다.

2. 실도로 기반 가상주행환경 구축

2장에서는 대용량 BRT를 평가하기 위한 가상주행환경을 구축하였다. 정적요소인 도로는 MMS 장비를 활용

하여 고정도 도로 모델을 구축하였으며 동적 요소는 랜덤 트래픽을 활용하여 제어차량 주위에 교통모델을 생성하였다.

2.1 MMS 기반 실도로 스캐닝

2.1절에서는 MMS 기반의 도로네트워크 모델을 구축하였다. 본 연구에서는 라이카 지오시스템즈의 Pegasus 2 Ultimate 장비를 활용하였으며 50 kph 속도로 주행하며 스캐닝하였다. 주행경로는 청라국제도시역부터 가정역까지이다. 청라지구의 BRT는 2개의 노선이 있으며 노선 버스는 701번 702번 버스이다. 스캐닝 데이터는 360도 카메라 및 4개의 카메라로부터 생성되는 이미지 데이터 및 라이다의 클라우드 포인트 정보로 구성되며 LAS(LASer) 데이터 생성시 사용된다. Table 2는 MMS 장비 사양을 나타내며 Fig. 1은 MMS 장비 차량 장착 및 캘리브레이션 셋업 그림이다.

Table 2 Mobile mapping system specification (Pegasus 2 Ultimate)

	Specification	Remark
Camera	4 ea	12 M Pixels
360 ° camera	1 ea	24 MP panorama
Scanner	Z+F 9012	
Accuracy	0.015 m (Vertical), 0.02 m (Horizontal)	



Fig. 1 Mobile mapping system calibration setup

2.2 LAS 데이터 생성 및 점군화 수행

LAS 데이터는 라이다 센서로부터 생성되는 클라우드 포인트 x, y, z 지점에 해당하는 카메라의 이미지 정보를 맵핑하여 생성된다. LAS 데이터 생성 과정은 다음과 같다. 우선 클라우드포인트 위치정보인 x, y, z 포인트 정보를 취득한다. 클라우드 포인트 생성 시 촬영된 카메라 이미지 정보를 활용하여 포인트의 x, y, z에 해당하는 픽셀 정보의 RGB(Red Green Blue) 값을 입력하여 Colored cloud point data base를 생성한다. 본 연구에서 BRT 주행 경로에 대하여 생성된 LAS데이터는 Fig. 2와 같다.

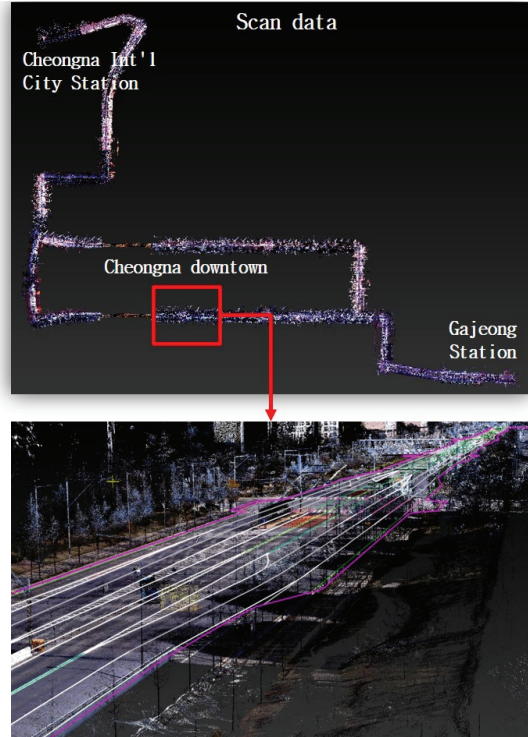


Fig. 2 Scanned las data of BRT route

다음은 클라우드 포인트의 분류(Classification)이다. 포인트의 점군화라고도 하며 Road factory의 AI로직을 활용하여 LAS 데이터 그룹화를 수행하였다. 그룹화는 객체별로 진행되며 나무, 도로, 빌딩, 전선 등의 물체를 구별하여 점군화를 수행한다. 점군화를 통해 사용자는 원하는 객체의 LAS 데이터만 추출이 가능하다. 본 연구에서는 도로 모델에 대한 LAS 데이터 활용을 위해 도로 점군을 사용하였으며 추후 빌딩 및 나무 등의 요소는 VTD Road Designer를 활용하여 별도로 모델링하였다.

2.3 openDRIVE 기반 BRT 주행경로 생성

다음으로는 openDRIVE 기반 BRT 주행경로 생성하였다. openDRIVE는 도로의 네트워크 정보를 정의하는 ASAM 표준이다. openDRIVE에서의 도로 차선, 폭, 고도, 뱅크각 등은 3차 다항식으로 피팅되었다. 이는 MMS 장비로부터 생성된 LAS 데이터 기반으로 추출된 무작위의 차선 및 차폭, 고도 정보 등을 가상화하기 위해서는 일반적인 직선 또는 곡선 형태의 조합으로는 실도로를 가상화하는 것이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 3차 다항식 기반의 피팅을 수행하였으며 모든 도로 정보는 식 (1)의 a, b, c, d의 값으로 정의가 된다.

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 \tag{1}$$

여기서 x 는 도로의 길이 방향에 대한 정보이며 y 는 도로의 폭, 고도, 벵크각 등이다. openDRIVE에서는 a, b, c, d 값의 정의에 의하여 도로 길이 방향에 대한 도로 속성 정보가 표현된다.

openDRIVE에서는 Style 항목에서 주변 환경 물체에 대하여 정의할 수 있다. openDRIVE는 User data(그래픽 정보)에 대한 위치 정보만을 포함하며 실제 그래픽 데이터는 다른 데이터베이스에서 관리된다. 본 연구에서는 VTD에서 제공하는 기본적인 빌딩, 나무, 가드레일, 가로등, 신호등 등의 그래픽 데이터를 활용하였으며 openDRIVE에서는 그래픽 데이터의 위치정보를 포함하고 있다. 이렇게 VTD의 가상환경은 openDRIVE라는 도로 네트워크 파일과 Open scene graph형식의 Osgb 그래픽 파일 2가지로 구성된다. 본 연구에서는 도로의 로드 마크, 정지선, 신호등, 가드레일, 나무, 빌딩, 지하차도 등의 그래픽 요소를 모델링 하였다. Fig. 3은 Landscape 그래픽 모델을 나타낸다.

Fig. 4는 MMS기반의 openDRIVE 모델 생성과정을 나타낸다.

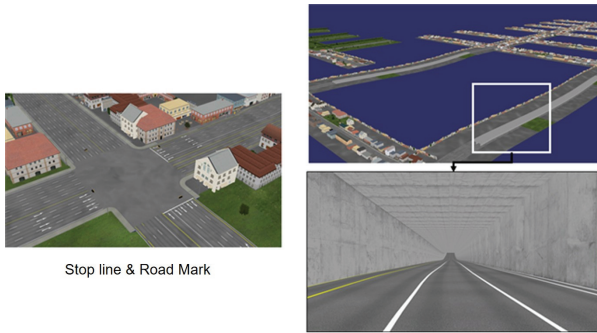


Fig. 3 Landscape & tunnel graphic model

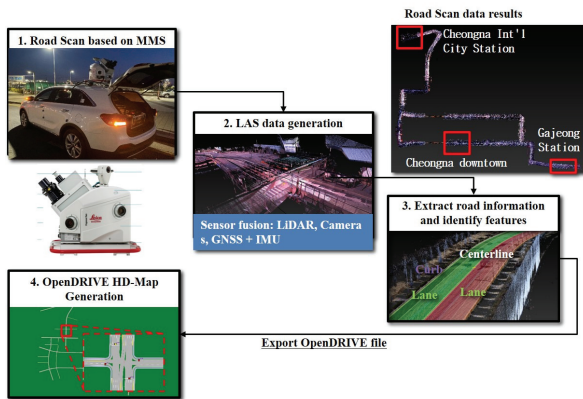


Fig. 4 openDRIVE modeling process based on MMS

2.4 openDRIVE 모델 정합성 검증

openDRIVE 파일은 BRT 주행경로의 Shape 파일과 비교 검증을 통하여 정확도를 계산하였다. Shape 파일은 차선의 위치 정보를 포함하는 데이터로서 본 연구에서는 openDRIVE 모델 검증용 데이터로 활용하였다. Shape 파일은 라이카 MMS 장비로부터 추출되며 MMS 장비는 1 mm의 정확도를 보장한다.

openDRIVE 파일 검증은 openDRIVE의 중앙선(reference line) 및 Shape 파일의 중앙선의 위치좌표의 RMSPe, 그리고 Shape 파일의 각 차선별 위치 좌표 및 openDRIVE 위치 좌표의 RMSPe(Root of Mean Squared Percentage Error)로 수행하였다. openDRIVE는 Shape file을 3차 다항식으로 RMSPe를 최소화하는 방향으로 피팅하여 생성된다. 검증될 도로의 길이 방향 좌표를 1 m 간격의 등간격으로 데이터 점을 추출하여 추출된 포인트의 x, y 글로벌 좌표를 비교 검증하였다. 결과는 아래의 표와 같다.

Table 3 openDRIVE road accuracy

	Reference line	Lanes
X coordinate (RMSPe)	0.75	1.71
y coordinate (RMSPe)	0.62	2.09

2.5 BRT 자율주행 시나리오 모델링

본 연구에서는 openSCENARIO 표준으로 시나리오를 모델링 하였다. openSCENARIO는 ASAM의 시나리오 표준이며 시뮬레이션시 오브젝트의 동적거동을 표현한다. 본 연구는 Random traffic을 활용하여 BRT 주행노선에 대한 일반적인 주행상황을 시나리오로 모델링하여 제어기의 성능을 평가하였다. 차년도에는 제어로직 성능 평가용 옛지케이스(Cut-in, cut-out, pedestrian scenarios etc.)를 고려한 테스트 자동화 기능을 개발하여 제어기 성능 평가를 고도화할 예정이다.

BRT 평가를 위한 시나리오는 BRT 701번 702번 버스노선에서 버스정류장의 위치를 모델링 후 버스정류장에서 30초 동안 정지 후 출발하는 시나리오 모델을 구성하였다. 교통모델은 VTD의 Pulk 트래픽을 활용하였다. Pulk traffic은 VTD에서 제공하는 랜덤트래픽으로써 제어차량(Ego) 주위의 교통모델을 생성한다. 교통모델 생성조건은 다음과 같다. 제어차량 중심으로 60대의 교통량을 생성하였으며 도심지역에서의 교통흐름을 반영했다. 또한, 차량 분포는 제어차량 중심으로 전방: 40%, 후방: 30%, 좌측: 15%, 우측: 15%로 정의하였다. 차량 종류 분포는 제어차량 중심으로 승용차: 75%, 밴: 10%, 버



Fig. 5 Scenario model based on openSCENARIO

스: 5%, 트럭: 5%, 이륜차: 5%로 정의하였다. 자세한 사항은 Fig. 5와 같다.

3. BRT 차량모델 모델링 및 검증

3절에서는 조향입력 및 가속, 제동 페달에 대한 실차량 응답을 구현하기 위해 Modelica 언어 기반의 차량 동역학 모델을 개발하였다. 새시시스템은 바이모달 거동을 모사할 수 있는 3축 차량모델을 모델링하였으며 각축에 조향 시스템을 모델링하였다. 동력계는 다이몰라(Dymola)의 Battery library와 Vehicle dynamics library 기반으로 배터리, 모터, 디젤엔진, Controller를 모델링하여 Hybrid model을 구성하였다.^{3,4)} 타이어 모델은 Pacejka tire 모델을 적용하여 비선형적인 Tire 거동을 표현하였다.⁶⁾

3.1 현가 모델

새시시스템에서 AWS를 구현하기 위해 차량 각축에 Steering system을 적용하여 각 축에 독립적인 조향기능을 모델링 하였다. 2차축과 3축은 Hook(Ball joint) 조인트로 모델링하여 차량의 바이모달 거동을 모사했다.

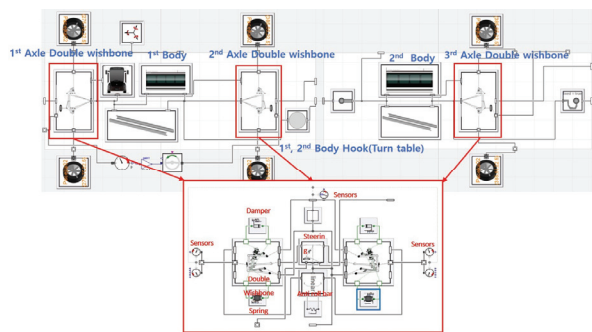


Fig. 6 Modelica based chassis model

$$V_0 = A_v * 0.2$$

$$F_p = dP * A_f$$

$$F_s = c_k * s_{rel}$$

$$V = V_0 + A_v * s_{rel}$$

$$dP = \frac{(P_0 + P_{atm}) * V_0^n}{V^n} - P_{atm} - P_0$$

$$-F + F_0 + F_p = F_s$$

s_{rel} = displacement of Flange.b

-displacement of Flange.b

(2)

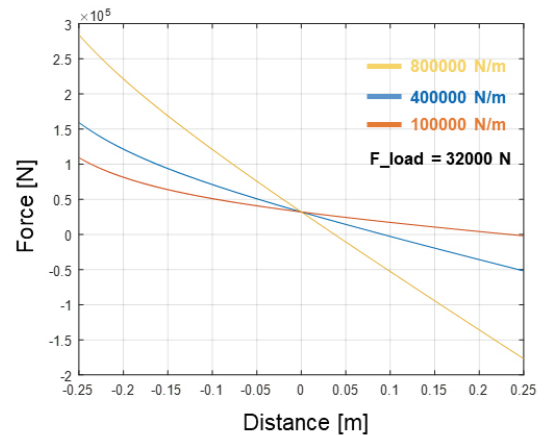


Fig. 7 Air spring stiffness

1, 2, 3축의 현가 타입은 모두 Double wishbone 타입이며 각축에 Antiroll bar를 모델링하였다. Fig. 6은 현가타입의 구성도를 나타낸다.⁵⁾

각 축의 스프링은 에어스프링 모델로 모델링 하였으며 에어스프링 수식 및 성능 그래프는 식 (2)와 Fig. 7과 같다.

3.2 동력계 모델

대용량 BRT는 디젤엔진기반 직렬형 하이브리드 차량이며 유로6 209 kW급 디젤엔진 및 140 kW급 발전기가 적용된다. 배터리는 Modelon사의 Battery library를 기반으로 모델링하였으며 Motor는 Controller를 사용하여 각 가속도 타겟으로 Torque control을 하는 모델로 구성했다. Controller는 Accel pedal의 변위를 전압으로 변환하여 차량의 동력을 공급한다(Fig. 8).

Fig. 9는 동력계 통합 템플릿을 나타낸다. 브레이크 모듈 및 동력계 모듈은 사시 모듈과 각 축마다 연동된다. 차량동역학 모델은 시험모드의 Sub-module이 되어 차량 동역학 시험을 가상에서 시뮬레이션이 가능하다.

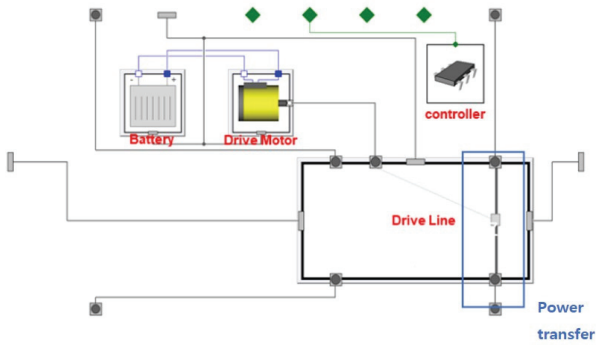


Fig. 8 Modelica based powertrain model

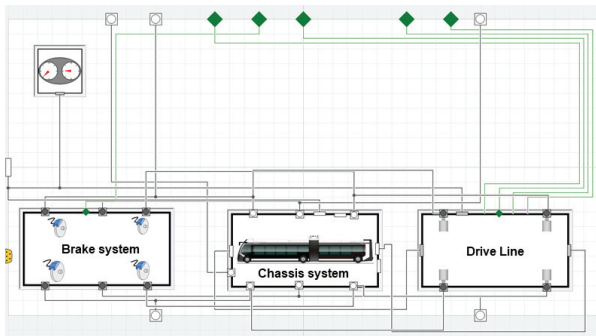


Fig. 9 Modelica based BRT template model

3.3 차량동역학 모델 검증

3.3.1 BRT 실차 시험법 정의

3.2절에서 개발된 차량동역학 모델 검증을 위해 실차 기반의 동특성 시험을 수행하였다. 본 연구에서는 시험 차량 및 차량 이동여건상 공사중인 공도에서 시험을 진행하였으며 차량 동역학 모델의 검증을 위해 가속, 제동, 더블레인체인지 시험모드를 선정하였다. 대용량 BRT의 최대속도는 80 kph이다. 본 연구에서는 가속시험은 정지 상태에서 70 kph까지 도달할때까지 데이터를 계측하였으며 제동시험의 경우 70 kph에서 정지할때까지의 시험 데이터를 계측하였다. 더블레인체인지의 BRT 차량 특성상 안전상의 이유로 60 kph에서 횡가속도가 0.2 g가 발생하도록 조향하였다.

3.3.2 계측 장비 설치 및 시험

본 연구에서는 대상 차량에 장착된 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서를 통해 검증에 필요한 데이터를 계측했다.

IMU센서에서는 각 시험모드의 결과를 계측하기 위해 차량의 상태 정보 및 3축에 대한 데이터를 계측하였다. 시험에서 상용 전기버스는 굴절형 버스이며 바이모달 거동을 검증할 수 있도록 IMU 센서를 Front와 Rear에 부

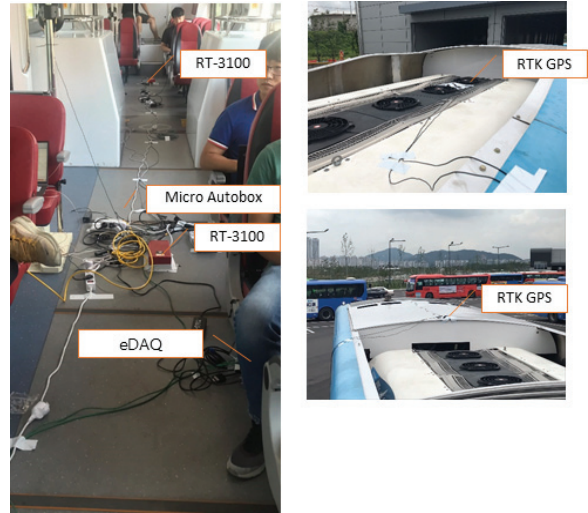


Fig. 10 BRT test equipment setup

착하여 계측 결과를 각각 취득했다.

조향신호 및 페달 정보는 차량의 CAN(Controller Area Network) 통신을 통해 계측하였다. 실차 시험에서 얻은 Time vs Steering angle 정보를 차량동역학모델 검증 환경에 인가하여 동역학 시뮬레이션 결과값과 실차 시험에서의 계측값을 비교하였다. Fig. 10은 계측을 위한 센서를 굴절형 버스에 설치한 것을 보여준다.

3.3.3 BRT 차량 동역학 모델 검증

3.3.1절에서 정의한 실험법으로 진행된 실차 결과를 기반으로 본 연구에서 구축한 차량 모델 검증을 수행하였다. 3.3.3절에서는 가속 시험, 제동 시험, Double lane change 시험에 대한 결과와 모델 검증하기 위해 Fig. 11과 같이 시뮬레이션 검증환경을 모델링하였다.

검증 환경은 차량동역학 시험에서 계측된 조향각 및 가속 및 제동 페달값을 입력값으로 차량모델에 인가하였다.

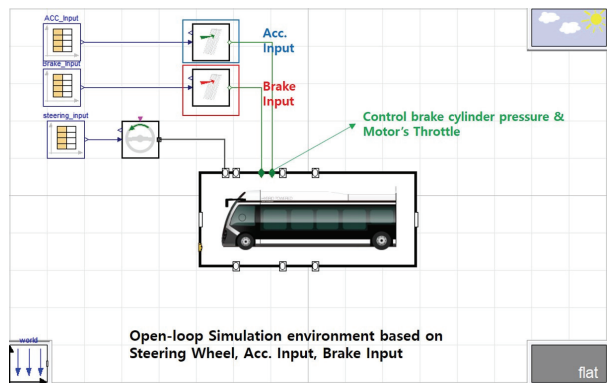


Fig. 11 Vehicle model validation environment

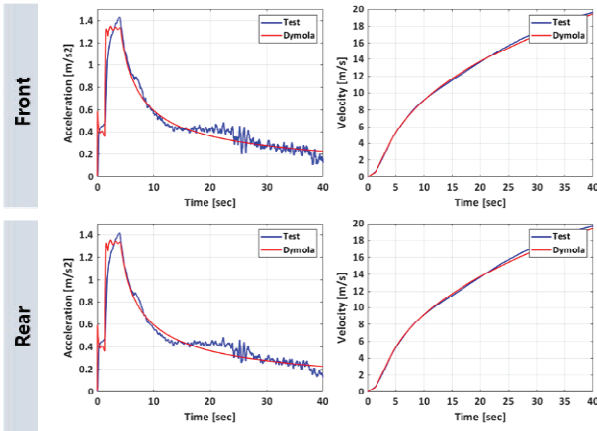


Fig. 12 Acceleration test result

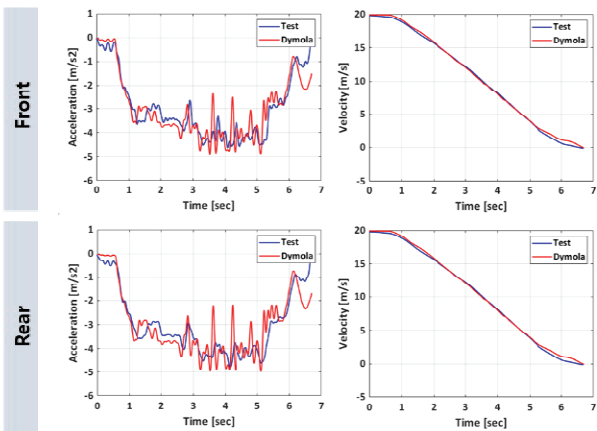


Fig. 13 Braking test result

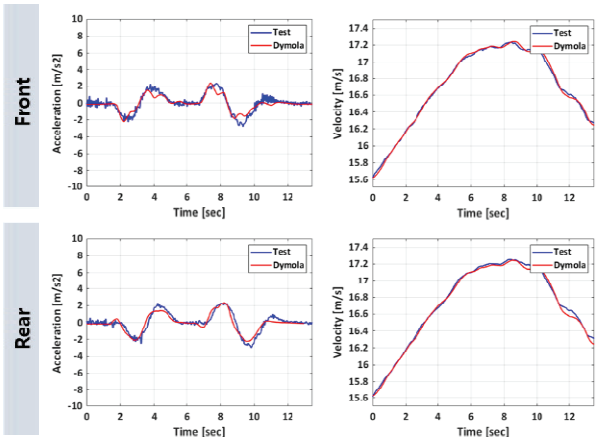


Fig. 14 Double lane change result

실차 시험은 가속, 제동, Double lane change 시험 각각 3번을 진행했고, 성능지수에 대한 분석은 각 시험에서 3번의 성능지수 값의 평균으로 차량 동역학 모델의 검증 을 진행하였다.⁷⁾

대용량 BRT의 전방 및 후방 차체에 대한 속도 및 가속도를 기반으로 검증을 수행하였다. 가속 및 제동 시험은 차체의 중방향 속도 및 가속도를 기반으로 검증하였으며 더블레인체인지의 경우 횡방향 속도 및 가속도를 기반으로 검증하였다. 지수는 식 (3)과 같이 RMSPe로 나타내었으며 Table 4의 차량 동특성 시험 결과의 모델 정확도가 목표인 80 % 이상임을 보여준다. 또한 모델 정확도 80 % 이상을 만족함과 동시에 모델의 실시간성을 동시에 만족하여 개발된 모델이 가상주행환경의 차량모델로 충분히 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 차량모델 검증 결과에 대한 자세한 사항은 Table 4와 같다.

$$Error(\%) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{y_s - y_t}{y_t} \right)^2} \times 100 \quad (3)$$

where y_s = simulation result
 y_t = test result

Table 4 Vehicle test results(RMSPe)

		Acceleration test	Braking test	Double lane change test
Front	Acceleration RMSPe (%)	11.9	16.81	16.91
	Velocity RMSPe (%)	1.92	2.24	1.2
Rear	Acceleration RMSPe (%)	7.34	18.56	19.38
	Velocity RMSPe (%)	2.14	2.31	1.6

4. 가상주행환경 및 차량모델 인터페이스 모듈 개발

4절에서는 가상주행환경 및 차량모델간 연동환경을 구축하였다. 우선 연동 데이터항목을 정의후 가상주행환경 Plug-in 환경에서 사용자가 정의한 C++ 소스코드를 기반으로 가상환경을 제어할 수 있다. C++ 소스코드에

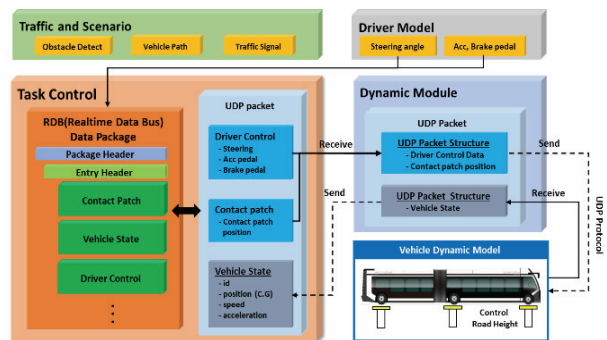


Fig. 15 Data flow based on interface modules

는 차량제어 및 통신 모듈이 포함되어 차량 모델과 연동할 수 있다. 본 연구에서는 가상주행환경에서의 통신모듈과 차량동역학 모델의 통신모듈을 각각 구축하였다. Fig. 15는 가상주행환경 및 차량모델간 인터페이스 환경을 나타낸다.⁸⁾

4.1 가상주행환경용 UDP 통신 모듈 모델링

가상주행환경의 모든 데이터는 RDB(Runtime Data Bus)라는 데이터 구조로 정의된다. RDB는 가상주행환경에서 계산되는 모든 데이터를 구조체로 정의된 규격이다. 데이터에는 모든 차량에 대한 속도, 가속도, 운전자 신호, 위치정보, 보행자의 위치, 신호등의 위치, 현재 신호 등 가상환경에 대한 구성요소 전부를 의미한다. RDB는 C++ 개발환경에서 사용자에게 의해 출력 및 제어가 가능하며 차량의 캔데이터와 동일한 기능을 한다. C++ 개발환경에서 RDB는 일반적인 Packet과 동일하게 HEADER와 DATA 항목이 존재하고 구조체 형식으로 정의된다.

가상주행환경의 RDB 데이터를 통신하기 위하여 C++ 소스코드 생성 후 Plug-in 형식으로 가상주행환경과 연동하여 코드를 실행하였다. 예를 들어, 7절에서 언급한 RDB 구조에서 차량의 상태정보를 출력 및 전송하는 코드를 모델링 및 Compile후 생성된 파일을 가상환경에 Plug-in하여 인터페이스 환경을 구축하였다.

Driver Model은 실제 조향장치와 페달장치를 이용해 실제 운전자가 조향 신호를 제공하며 제어권 전환시 자율주행 로직으로 차량을 제어한다. 사용자가 정의한 Driver 신호는 가상주행환경 중앙제어 모듈인 TaskControl 모듈에서 제어하며 차량모델에 운전자 제어 신호를 전송하여 차량응답을 반영한다.

4.2 차량모델용 UDP 통신 모듈 모델링

차량 정보는 BRT 모델을 제어하기 위하여 하나의 구조체로 정의하였다. 구조체는 차량의 상태 정보, 가상주행환경에서 노면의 고도를 반영하기 위해 각 바퀴에서의 고도정보로 구성된다.

차량동역학모델의 타이어와 도로간 컨택 포인트는 휠당 1개를 지정하였다. Fig. 16은 openDRIVE 상에서 도로-차량모델 간 Contact mechanism을 보여준다.

가상환경에서 전송되는 RDB 데이터를 차량 모델에서 수신 및 차량데이터를 가상환경에 송신하기 위해 인터페이스 모듈을 구축했다. BRT 차량의 조향 및 가속, 감속 페달에 실제 운전자 입력신호 또는 차량 제어기 신호를 수신할 수 있는 모듈과 차량의 상태정보를 가상환경에 전송하는 모듈을 Fig. 17과 같이 구축하였다.

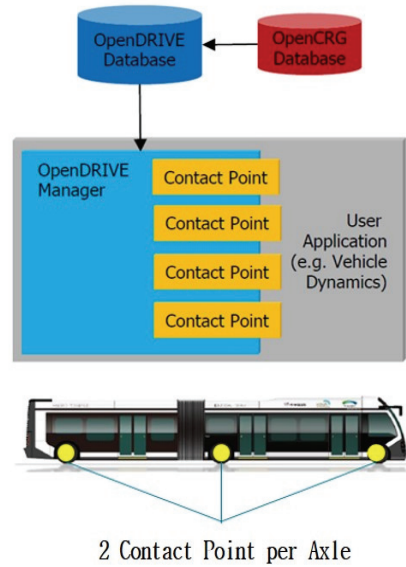


Fig. 16 Road contact mechanism

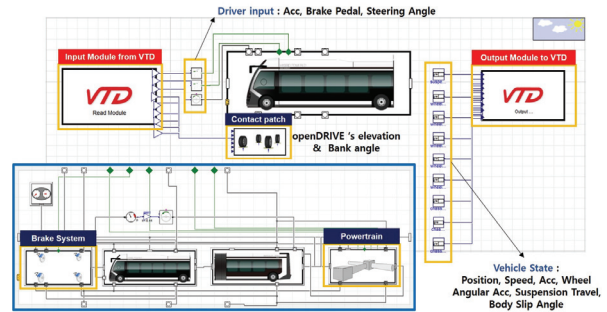


Fig. 17 Interface module for vehicle model

5. 결과

5.1 자율주행 평가용 가상주행환경 플랫폼 개발

5절에서는 Vires사의 Virtual test drive를 활용하여 가상주행환경 플랫폼을 구축하였다. 본 연구는 청라지구 실험도로에서 주행중인 대용량 BRT의 자율주행로직을 가상에서 개발하기 위해 앞에서 구축된 도로, 시나리오, 차량 모델 등을 인터페이스 모듈 기반으로 통합한 가상주행 환경 플랫폼을 구축하였다. Fig. 18은 본 연구에서 제시하는 가상주행환경 플랫폼의 개요이다.

5절에서는 본 연구에서 구축된 청라지구의 701번 및 702번 버스노선 가상환경을 드라이빙 시뮬레이터와 연동하여 시뮬레이션을 수행하였다. 드라이빙 시뮬레이터는 실제 BRT 차량의 운적석을 Mock-up으로 제작하였으며 제어기의 조향각 및 페달 입력을 액추에이터를 통해 구현한다. 드라이빙 시뮬레이터는 제어권 전환시 운전자가 차량을 제어할 수 있으며 운전자의 조향 및 페달 입

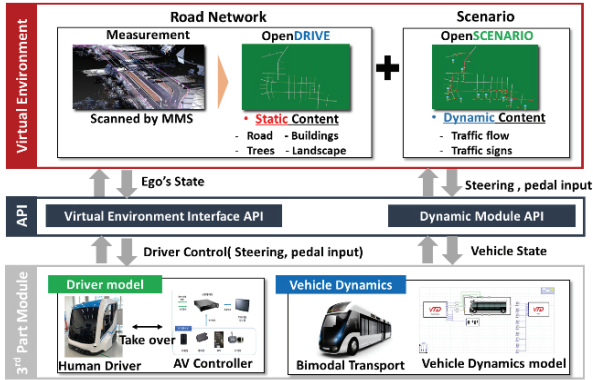


Fig. 18 Virtual drive environment platform for autonomous driving evaluation



Fig. 19 Driving simulator based on virtual drive environment platform

력이 차량 모델에 인가되어 운전자가 직접 운행할 수 있는 환경을 구성한다. Fig. 19는 실제 드라이빙 시뮬레이터 기반으로 BRT버스노선을 주행하는 그림이다. Random traffic 상황에서 시뮬레이션 구동률을 점검하였으며 구동률은 주행경로 왕복주행 건수 당 경로이탈 건 및 충돌횟수로 정의하였다. VTD 자율주행로직 기준으로 236회 왕복주행시 경로이탈 0건 및 충돌횟수 0건을 나타내었다.

6. 결론

본 연구에서는 청라지구에서 운행중인 대용량 BRT를 자율주행시스템으로 전환하기전 선행단계에서 자율주행로직을 평가하기 위해 고정도 가상주행환경을 개발하였다. 실차에 적용될 자율주행 제어로직과 동일한 통신환경으로 VTD(Virtual Test Drive) 제어로직과 가상주행환경을 연동하였으며 버스노선에 대한 자율주행성능을 평가하였다. VTD 자율주행 제어로직은 추후 실차용으로 개발될 자율주행 제어로직으로 대체되어 평가할 예

정이다.

또한 본 연구에서 개발된 차량모델은 저차량도 차량 모델 사용시 구현할 수 없는 페달 입력 및 동력계 특성을 구현하고 이에 따른 차량의 응답 및 거동특성을 반영하는 고정도 차량 모델을 구축하였다. 이를 통해 가상에서 자율주행제어기 개발시 차량 응답지연 현상을 고려하여 제어기를 개발할 수 있는 방법론을 제시하였다.

마지막으로 대용량 BRT는 실제 운행중인 대중교통으로써 실차 기반으로 자율주행로직을 평가 시 많은 제약 사항(차량대여, 버스노선 주행허가, 주행거리 및 시간)이 존재하며 사고 위험성이 높다. 따라서 본 연구에서 개발된 가상주행환경을 활용하여 선행단계에서 편도 거리 7080 km의 주행거리에 대해 가상에서 제어로직을 평가하였다.

본논문을 통해 도출된 결과물은 다음과 같다.

- 1) MMS 기반의 실도로 가상화 기법을 정립하였으며 ASAM 표준인 openDRIVE의 도로모델 생성을 통해 시뮬레이션 환경에서 평가할 수 있는 도로모델을 구축하였다.
- 2) Modelcia 기반 차량동역학 모델 개발을 통해 실제 차량의 동특성을 모사하는 고정도 차량모델을 구축하였다.
- 3) 인터페이스 모듈 개발을 통해 가상주행환경에 3rd part 모듈(차량모델, 드라이버 모델 및 로직)을 Plug-in 형식으로 연동할 수 있는 환경을 구축하였다.
- 4) ASAM 표준 기반으로 자율주행 평가용 가상주행환경을 구축하여 활용성 높은 플랫폼을 구축하였다. 추후 ASAM 표준의 도로 모델 및 시나리오, 차량모델등의 모델 변경시 본 연구에서 개발된 플랫폼을 그대로 활용이 가능하다.

본 연구는 제어차량 주위의 랜덤 트래픽 상황에서 제어로직 평가가 수행되었으며 추후 트래픽 시뮬레이션 틀을 활용하여 실제 교통량을 적용할 예정이다. 또한 옛지 케이스, 사고 및 돌발상황 등을 트래픽 모델에 적용하여 주행거리 기반의 제어로직을 평가할 예정이다. 제어로직은 실차용 BRT 자율주행로직을 적용하여 본 플랫폼기반으로 평가자동화 환경을 구축 및 고도화할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 교통물류연구사업의 연구비지원(21TLRP-C152478-03)에 의해 수행되었습니다. 이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 5199990814084).

References

- 1) State of California Department of Motor Vehicles, Disengagement Report 2019, <https://www.dmv.ca.gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/disengagement-reports/>, 2020.
- 2) M. Schiller, M. Dupius, D. Krajzewicz, A. Kern and A. Knoll, "Multi-resolution Traffic Simulation for Large-scale High-fidelity Evaluation of VANET Applications," *Simulating Urban Traffic Scenarios*, pp.17-36, 2019.
- 3) J. Jo, W. Kang, D. Kang, G. Lee and S. Heo, "Vehicle Dynamics Model and Tire Filer for Ride Comfot Analysis," *Transactions of KSAE*, Vol.28, No.12, pp.859-864, 2020.
- 4) *Vehicle Dynamics Library*, Modelon, 2019.
- 5) R. N. Jazar, *Vehicle Dynamics – Theory and Application*, Springer, New York, 2015.
- 6) H. B. Pacejka, *Tyre and Vehicle Dynamics*, Elsevier Ltd, Oxford, pp.483-512, 2006.
- 7) M. Hyun, J. Yoon, G. Lee, S. Park, D. Kang and S. Heo, "Study on Suspension Bush Model for Predicting Frequency and Amplitude Dependent Nonlinear Dynamic Characteristics," *Transactions of KSAE*, Vol.28, No.9, pp.621-628, 2020.
- 8) M. Lee, *A Study on the Construction of Commercial Electric Vehicle Fuel Efficiency Analysis Platform Based on Real Road Virtual Test Driving*, M. S. Thesis, Kookmin University, Seoul, 2020.