

HILS를 이용한 바이모달 트램 조향장치 성능 평가

Performance Evaluation of Steering System for the Bimodal Tram by using HILS

문경호† 장세기* 목재균* 김연수**
Moon, Kyeong-Ho Mok, Jai-Kyun Chang, Seky Kim, Yeon-Su

ABSTRACT

The bimodal tram with a pivoting joint has difficulty in making a sharp turn because of their long body and wheel base. Therefore, applying AWS(all wheel steering) to the bimodal tram is effective to reduce the turning radius. In the present study, HILS(hardware in the loop simulation) system for the AWS ECU test was developed, which consists of the components used in real vehicles. The data obtained from the HILS system also satisfied the dynamics simulation without any error on the operation control.

1. 서론

바이모달 트램은 전용도로에 설치된 자석 마커를 따라 자동운전이 가능하며, 고무타이어로 되어 있어 정해진 선로와 일반도로 양쪽 모두를 운행할 수 있는 굴절차량으로 다양한 교통수요에 대응하기 위하여 만들어진 대중교통수단이다[1, 2]. 2량 1편성인 바이모달 트램의 차량길이는 굴절버스와 비슷하나 승객의 탑승구간을 초저상으로 편평하게 하고 이동 편의성을 높이고자 앞축을 운전석 쪽으로 뒤축은 엔진룸 쪽으로 배치함으로써 축간거리가 굴절버스보다 길어지게 된다. 이러한 바이모달 트램은 자석 마커의 정밀한 추종뿐 아니라 긴 축간거리로 인하여 전륜조향(front wheel steering)을 갖는 일반 굴절버스와 다르게 전체 차륜 조향(AWS, all wheel steering) 시스템을 적용하여 원활한 회전성능을 확보하고 있다[3]. 바이모달 트램에 사용되는 AWS 시스템은 전자 제어 유압 장치로써 ECU(electronic control unit), 유압 액츄에이터, 조향 링크로 구성되어 있다. 차량 주행 상황(전륜 조향각, 굴절각, 차속)에 따라 ECU는 유압 액츄에이터를 제어한다.

제어알고리즘 및 전자제어장치 개발과정에서 신뢰성 확보를 위하여 다양한 운전조건에 따른 실차 시험이 수행되어야 한다. 그러나 실차 시험에서는 같은 운전 조건 하에서 반복시험이 어려울 뿐만 아니라, 실차 시험을 위한 환경을 갖추기 위해 많은 시간과 비용이 요구된다. 초기 개발단계에서 비용절감과 개발기간을 단축하기 위하여 모델링과 시뮬레이션에 의하여 개발이 이루어지지만, 이 역시 실차시험을 통한 검증이 필수적이다. 동역학적 모델링이 힘든 부분(부품)을 시스템 루프(loop) 상에 하드웨어 그대로 연결하고 시뮬레이션을 실시하여 실차시험에서 드는 비용을 줄이고 실내시험의 장점을 살리기 위한 시험 방법이 HILS이다. 이러한 HILS를 이용한 시험이 자동차 산업을 중심으로 많이 도입되고 있다[4, 5].

본 논문에서는 바이모달 트램에 사용되는 ECU, 유압 액츄에이터 그리고 센서들로

구성된 HILS 시스템을 구축하였고 이 HILS 시스템을 이용하여 개발된 AWS ECU를 시험하였다. 측

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 선임연구원
E-mail : khmoon@krrri.re.kr

TEL : (031)460-5211 FAX : (031)460-5024

* 정회원, 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 책임연구원

** 정회원, 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 선임연구원

정된 결과를 동역학 시뮬레이션과 비교하여 조향장치의 성능을 검증하였다.

2. AWS HILS 시스템 구성

AWS ECU에 대한 특성을 평가하기 위하여 HILS 시스템을 구축하였으며, HILS는 신뢰성 확보를 위하여 실제 차량과 동일한 주행 환경을 구현하는 것을 원칙으로 하였다. HILS는 ECU, 액츄에이터를 포함한 하드웨어 부분, 입력 신호 입력을 위한 소프트웨어 부분으로 구성되며, 구축된 AWS HILS는 그림 1과 같이 AWS ECU, 유압시스템을 포함한 후륜 조향시스템, S/W를 포함한 실시간 동역학 시뮬레이터 및 S/W와 H/W의 인터페이스 장치로 이루어졌다.

2.1 AWS HILS H/W

AWS HILS 하드웨어는 AWS ECU, 유압시스템 및 시스템 입출력 등을 포함한 인터페이스 장치로 구성된다. AWS를 구성하는 부품이 실제 차량과 동일한 환경에서 가동할 수 있도록 그림 2와 같이 설계 제작하였으며, 지그프레임은 탱크, 펌프, 펌프 구동을 위한 모터, 유압작동기(hydraulic actuator), 제어밸브 블록(control valve block) 등으로 구성된 유압시스템과 피트먼 암 및 타이로드로 구성된 조향 링크장치를 설치 및 고정할 수 있도록 제작되었다. 차량을 조향할 때에 실차의 타이어에서 발생하는 조향저항을 구현하기 위한 반력장치를 유압실린더가 장착된 반대편 조향시스템의 끝단에 적용하였다. 각 지그와 프레임들은 유압시스템에서 발생하는 힘에 의한 강성 및 구조를 고려하여 설계되었다.

AWS ECU는 운행 속도신호, 차량상태 확인을 위한 디지털 신호이외에도 CAN(controller area network) 통신을 통하여 운행에 필요한 CAN 메시지 등을 입력받아야 작동하므로 AWS HILS를 구축하려면 실 운행 환경과 같이 테스트 환경을 조성해야 한다. AWS ECU가 작동하기 위하여 정지상태에서 속도신호를 모사해서 운행조건으로 만들어야 하며, 이 때 입출력 장치 및 에뮬레이터가 필요하다. 또한 PC에서 운행조건에 맞는 CAN 메시지를 생성하여 AWS ECU로 전송해야 하며, 온 오프 디지

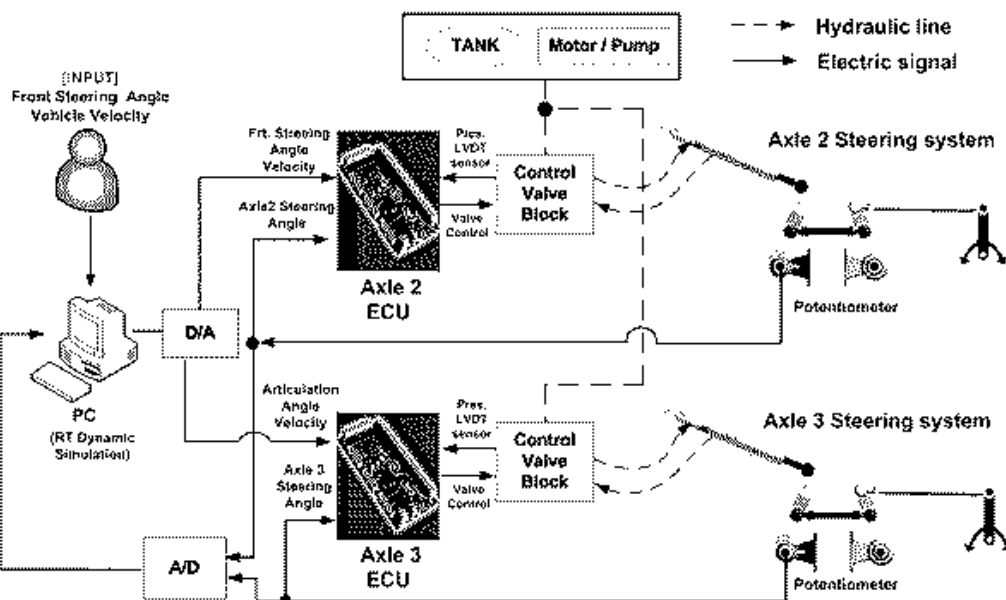


그림 1. AWS HILS의 구성도

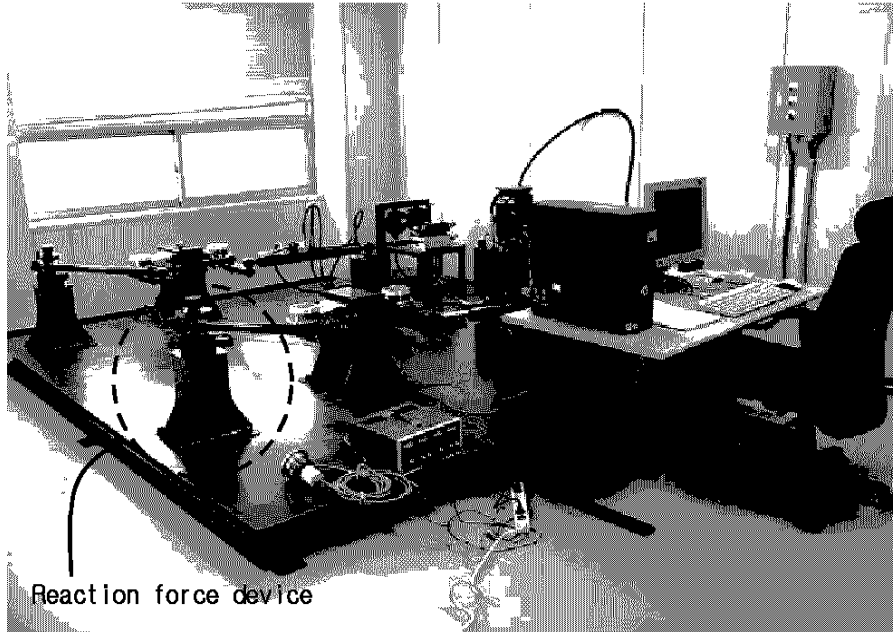


그림 2. 바이모달 트램의 AWS HILS H/W

털 신호도 AWS ECU의 입력조건에 맞게 변환해야 한다. ECU에 입력되는 신호 발생 및 정보를 분석하기 위한 입출력 장치로서 일반적으로 사용하는 개인용 컴퓨터와 DAQ(data acquisition) 보드를 이용하였다.

2.2 AWS HILS S/W

HILS S/W는 ECU의 초기값 및 변수를 설정하는 S/W, CAN 통신 환경을 설정해주고 메시지를 전송해 주는 S/W, 속도 및 조향각 신호를 계산해서 AWS ECU에 맞게 변경해서 보내주는 S/W로 구성되었다. ECU의 초기값 및 변수를 설정하는 S/W는 그림 3과 같은 Mobil Elektronik사에서 만든 PCS(PC-service software)를 사용하였다. PCS는 초기에 차륜을 정렬하면서 설정된 최대조향각도에 맞게 조향각도 센서의 출력각도를 교정해 주며, AWS ECU에 사용되는 변수를 운행 환경에 맞게 수정할 수 있도록 하여 준다. 또한, 입력된 신호 및 설정된 변수에 대한 오류 메시지를 나타내 준다.

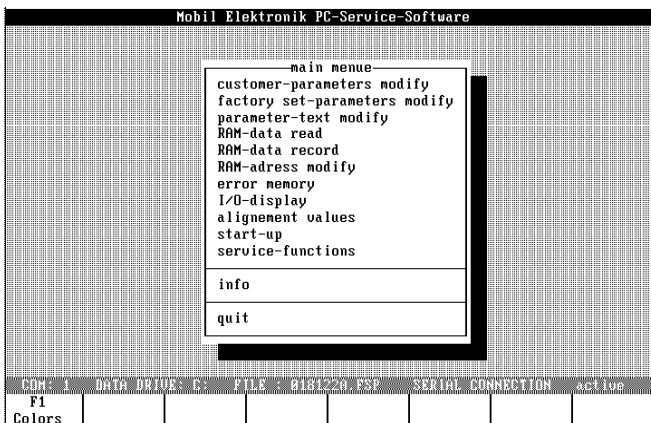


그림 3. PCS S/W

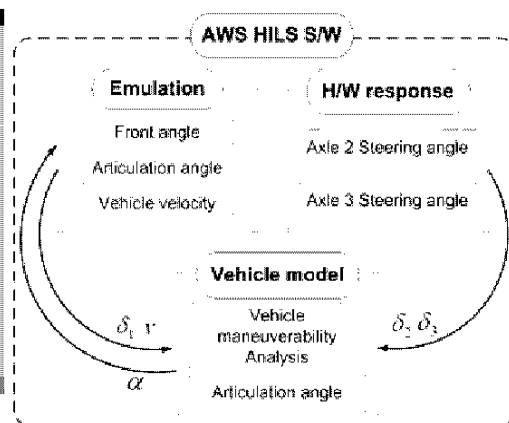


그림 4. AWS HILS S/W 구조

속도 및 조향각 신호를 계산해서 AWS ECU에 맞게 변경해서 보내주는 소프트웨어는 그림 4와 같으

며, 이 소프트웨어는 AWS ECU로 센서 신호 입력을 위한 모사(emulation) 부분, 하드웨어의 센서 신호를 인식하는 부분, 그리고 바이모달 트램의 차량 모델 부분으로 구성되어 있다. 모사 부분에서는 전륜 조향각, 굴절각, 차속 신호를 생성하며 AWS 시스템의 하드웨어 응답인 2, 3축의 조향각은 각 축에 부착된 각도 센서로부터 입력받도록 하였다. 차량 모델은 바이모달 트램의 기구학적 관계를 이용하여 굴절각과 차량의 주행 정보를 해석할 수 있게 하였다.

3. 성능 평가

바이모달 트램의 1축 조향에 대한 후부 축의 조향각도는 가상고정축에 의한 방법을 적용하였다. 이 방법은 조향되지 않는 고정축의 역할을 하는 가상고정축을 설정하고, 이 가상고정축을 지나가는 한 점에서 회전중심이 일치하도록 제어하는 방법이다[6]. 최종적으로 후부축의 조향각도는 차량의 기하학에 근거한 계산식을 기준으로 하여 최적 가상고정축 값 및 작은조향각 억제, 속도에 따른 조향각 제한, 스윙아웃에 의한 억제 등의 제한사항을 고려하여 그림 5와 같은 과정에 의하여 구하여 진다. 즉, 기하학에 근거한 계산식에 적용되는 가상고정축 값을 조정하여 2축과 3축의 최종 조향각이 정해지게 된다.

1축의 조향각은 운전자에 의하여 제어되지만 굴절각은 각 차륜의 조향 상태에 따라 기하학적으로 결정되어지므로 주행 궤적 및 차량의 회전성능 등을 파악하기 위하여 동역학 모델을 이용하여 동역학 시뮬레이션을 수행하여야 한다. 동역학 모델링에서 차량의 현가, 조향 장치 부품들은 Joint로 모델링 되었으며, 그림 6은 Bi-modal tram의 전체 차량 모델을 보여준다. 바이모달 트램은 전륜과 후륜 모두 더블 위시본 타입의 독립 현가장치를 채택하고 있으며, 타이어의 힘은 Magic Formula 식을 이용하였다[7]. AWS ECU 테스트 플랫폼의 결과를 동역학 모델에 적용하기 위해 그림 7과 같은 절차가 사용되었다. 주행 해석 중 차량 모델에서 나오는 차량 속도, 전륜 조향각, 굴절각 값을 이용해서 그림 5의

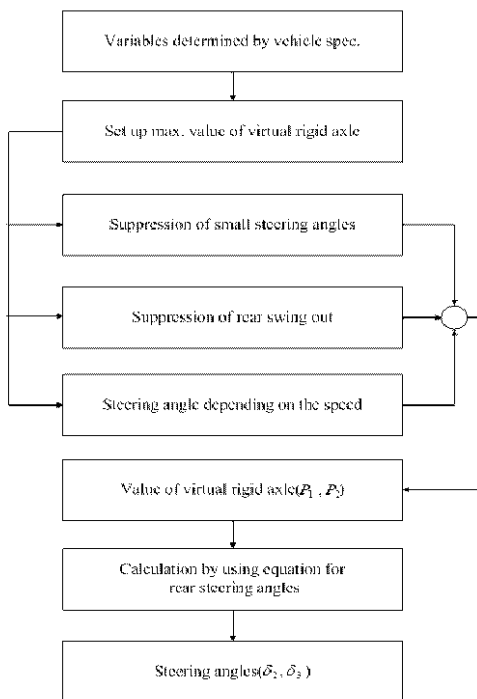


그림 5. 후부조향각 결정 과정

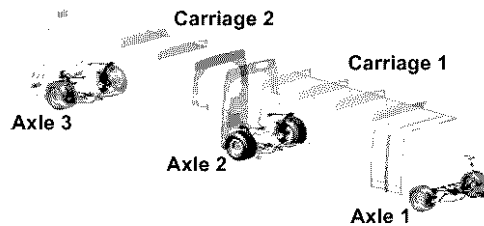


그림 6. 바이모달 트램의 전체 차량 모델

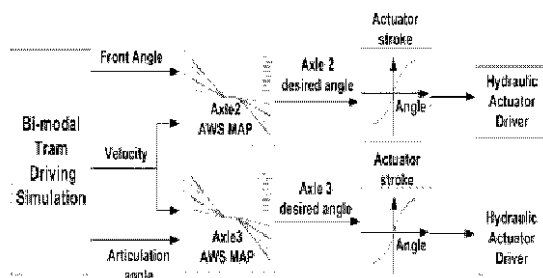


그림 7. 동역학 모델에서의 AWS 제어 과정

후부조향각 결정 과정에 따른 2축, 3축의 조향각(desired angle)이 구해진다. 후륜 조향각에 해당하는 실린더의 작동 거리는 기구학적 구성에 의해 정해진다.

적용된 알고리즘의 성능을 알기 위하여 스텝 입력인 J 턴 시뮬레이션을 하였다. 알고리즘에 의하면 2축 및 3축의 조향각도는 차량의 안정성을 위하여 20 km/h 이상에서는 줄어드게 된다. 최소 회전반경, 주행 폭은 최대로 조향했을 때 확인이 가능하기 때문에 시뮬레이션은 전륜의 조향각도를 최대로 한 후에 20 km/h 이하(10 km/h)의 주행속도에서 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 최소회전반경은 11.6 m, 주행 폭은 4.3 m로 나타났으며 각 축의 궤적 및 조향각도는 그림 8과 같다.

HILS에서 각 축의 조향각도는 1축의 조향각도와 실시간 동역학 모델에서 계산된 굴절각의 입력에 대하여 BCU 상의 계산 알고리즘에 의하여 2축 및 3축의 조향각도가

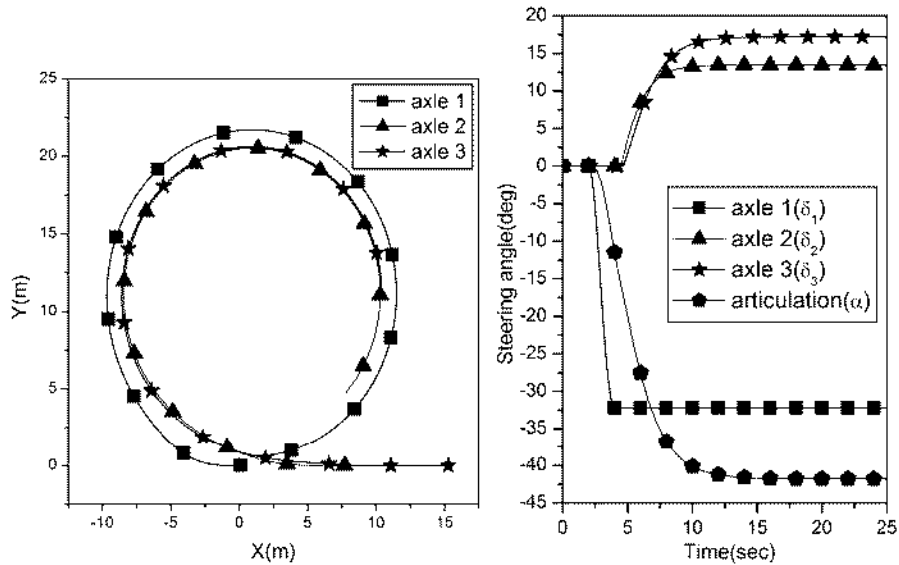


그림 8. 동역학 시뮬레이션에 의한 각 축의 궤적 및 조향각도

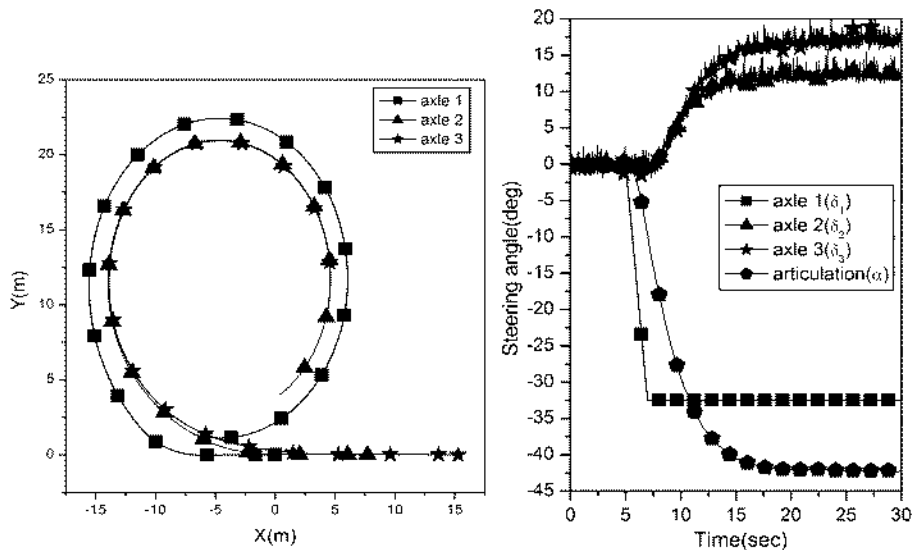


그림 9. HILS에 의한 각 축의 궤적 및 조향각도

계산된다. 이 값에 맞도록 유압시스템에서 제어하게 되며 이 때 조향센서에서 조향각도를 측정된다.

조향 알고리즘을 실제 ECU에 적용할 때 알고리즘 상에 문제는 없는지, 유압장치와의 인터페이스에 문제가 없는지 등을 확인하고자 개발된 AWS ECU에 개발된 알고리즘을 적용하여 HILS에 이용하여 시험을 하였다. 동역학 시뮬레이션과 HILS 결과를 비교하기 위하여 같은 조건인 주행속도 10 km/h, 1축을 32.5°의 최대 조향각도로 스텝입력인 J 턴으로 시험을 수행하였다. 그림 9는 HILS 시험에 의한 결과를 보여주고 있으며, HILS에 의해서 측정된 축의 조향각도 및 주행궤적에 대한 시험결과는 동역학 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. HILS의 결과에서 2축과 3축의 변동은 원하는 조향각도로 수렴하기 위한 과정으로 불가피 하며 유압시스템을 제어하는 보드와 제어로직을 보완하면 향후 개선이 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서 바이모달 트램에 사용되는 ECU, 유압 액추에이터 그리고 센서들로 구성된 HILS 시스템을 구축하였고, 이 HILS 시스템을 이용하여 개발된 AWS ECU를 시험하였다. 바이모달 트램에 적용될 조향알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 동역학 시뮬레이션 결과와 HILS 결과와 비교하였다. 주행속도 10 km/h, 1축을 32.5°의 최대 조향각도로 스텝입력인 J 턴으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 후륜의 조향각도 및 궤적은 동역학에 의해 예측된 결과와 일치하고 있으며 제어상의 오류가 발생하지 않아서 새로 개발된 알고리즘을 바이모달 트램에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 목재균, 임정환, 조세현 (2005), “신에너지 Bimodal 저상궤차량 기술 개발”, 대한기계학회 기계저널, 45(12), pp.46-49
2. 목재균, 윤희택 (2006), “신에너지 바이모달 트램 기술 개발”, 교통 기술과 정책, 3(4), pp.38-46
3. Ruud Bouwman (2001), "Phileas a modern 24 metre Hybrid Public Transport Vehicle", The 18th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, pp.1-12
4. I. R. Kendall, R. P. Jones (1999), "An investigation into the use of hardware-in-the-loop simulation testing for automotive electronic control systems", Control Engineering Practice, 7, pp.1343-1356
5. Dirk J. Verburg, Albert C. M. (2002), "VEHIL Developing and Testing Intelligent Vehicles", Proceeding IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.1-8
6. 문경호, 이수호, 목재균, 박태원 (2007), “궤차량에 대한 조향알고리즘 개발 및 검증”, 한국철도학회논문집, 제11권 3호, pp.225-232
7. Hans B. Pacejka (2002), “Tire and Vehicle Dynamics”, SAE, Inc., Warrendale, PA, USA