

에너지 저감(Eco driving) 운전 모드를 포함한 고정밀 모의주행 시뮬레이션 툴 개발

Development of High Precision Train Performance Simulation Tool including Eco-driving mode

김명한*†, 백승호*, 이원상*

Myong-Han Kim *†, Seung-Ho Baek *, Won-Sang Lee *

초 록 전동차의 주행 성능과 에너지 소비를 예측하기 위한 모의주행 시뮬레이션 툴(TPS)은 기존에도 많은 기관과 회사에서 개발 및 보유하고 있으며 상용 프로그램도 출시되어 있다. 하지만 전동차의 에너지 소비를 최소화하는 운행패턴을 적용하고 차량 설계를 위한 파라미터 출력, 운행 노선과 주행 조건을 상세하게 반영한 고정밀 시뮬레이션에는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 반영하여 에너지 저감 운행 모드(Eco mode)를 포함하고 운행 노선 및 차량의 상세 사양을 반영하여 정밀하게 시뮬레이션이 가능한 윈도우 기반 모의주행 시뮬레이션 툴(HATS)을 개발하였으며 본선에서 시뮬레이션 결과를 검증하였다.

주요어 : 시뮬레이션, 소비전력, 에너지, 운행패턴, TPS, Energy consumption

1. 서론

전동차의 주행 성능 및 주행 시간, 표정속도, 전압/전류 및 에너지 소비 등을 예측하여 차량 기본 설계에 반영하기 위해 모의주행 시뮬레이션을 수행한다. 이러한 시뮬레이션 툴은 사용 목적에 따라 차량, 인프라, 운영 측면에 특화되어 다양한 종류가 개발 및 상용화 되어 있으나, 차량의 주요사양 검토와 에너지 소비를 최소화하기 위한 정밀 모사에는 한계가 있다. 본 연구에서는 차량 제작사의 시뮬레이션 툴과 상용 프로그램의 기능, 성능을 분석하고 고효율 운행 패턴 알고리즘을 적용한 에너지 최소화, 주행 조건의 정밀 모사를 위한 기능 추가, 사용자 편의성을 향상 시킨 모의 주행 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 또한 개발 소프트웨어는 해외

컨설팅사와 결과 비교 및 수치 해석을 통한 입증을 하였으며 추가적으로 본선에서 결과를 검증한 내역을 보인다.

2. 본론

2.1 시뮬레이션 툴 개발

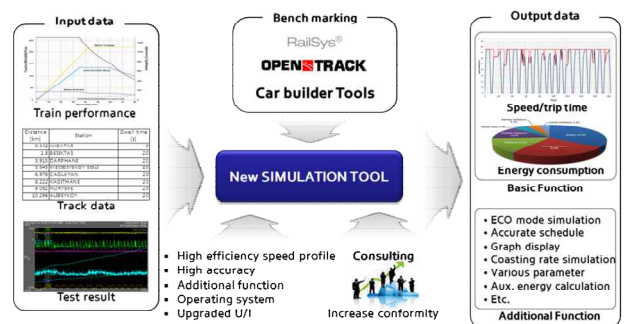


Fig. 1 Development flow

† 교신저자 (주)현대로템기술연구소 스마트시스템팀
(hans@hyundai-rottem.co.kr)

* (주)현대로템기술연구소 스마트시스템팀

시뮬레이션 툴 개발에 앞서 기존 보유하고 있던 시뮬레이션 툴의 결과와 실측 결과를

비교 분석하여 개선 사항을 도출하고 각종 입력 데이터의 정합성을 검증하였다. 고효율 운행 패턴 알고리즘을 개발하여 적용하고 차량 제작사, 컨설팅 사, 기타 상용 프로그램의 장단점을 분석하여 적용하였으며 시뮬레이션 결과를 상호 비교하여 1차적으로 정합성과 에너지 저감을 검증하였다.

개발된 시뮬레이션 툴(HATS)에는 기존의 모의 주행 시뮬레이션 알고리즘과 신규 개발된 고효율 운행패턴 알고리즘이 포함되어 비교 검토가 가능하며, 운전자의 주행패턴을 모사할 수 있는 Mimic 모드, 제한속도 생성 기능 및 노선 데이터의 검증 기능을 포함한다. 또한 차량 길이에 따른 정밀 저항 계산, 저크, 관성질량, 가속도 제한 선택, 풍속, 터널, 비상운전 성능, 회복 여유율에 따른 연산, 표정속도 정밀도 향상 등 고 정밀 시뮬레이션이 가능하도록 개발 되었다.

2.2 시뮬레이션 툴 검증 및 활용

시뮬레이션 결과의 속도 프로파일, 에너지 소비, 주행시간 등은 1차적으로 타사의 시뮬레이션 툴과 동일 조건에서 비교 검증 되었다. 차종, 성능, 노선, 회복 여유율 등에 따라 에너지 저감률은 다를 수 있으나 동일한 차종과 입력 조건에서 최대 30%의 에너지 저감을 확인하였다.

본선에서의 시뮬레이션 결과 검증을 위해 터키 전동차에 TCMS를 이용한 운전 지원 시스템(Driver advisory system)을 적용하고 기관사는 화면에 표시된 시뮬레이션 결과의 속도 프로파일과 명령을 따라 모사 운행이 가능하도록 하였다. 주행 모드는 기존 알고리즘의 속도 프로파일, 자동운전(ATO), 에너지 저감(Eco-driving) 모드 3종에 대해 시험하고 영향과 에너지를 비교하였으며 에너지 저감(Eco-driving) 모드에서 다른 운행 모드 대비 약 10~20%의 에너지가 저감되는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 차량의 기본 설계 단계에서 성능을 검토하고 에너지 소비를 예측하기

위해 새로 개발된 모의 주행 시뮬레이션 툴(HATS)을 소개 하였다. 개발에 앞서 시뮬레이션에 적용되는 각종 파라미터의 정합성을 검증하고 최적의 값을 도출하였으며, 기존 툴과 타사의 툴을 종합적으로 검토하여 문제점 개선 및 고정밀 시뮬레이션이 가능하도록 기능과 성능을 향상시켰다.

또한 고효율 운행패턴 알고리즘을 개발 적용하여 에너지 저감 효과를 확인하였다.

개발된 시뮬레이션 툴을 적용 할 경우 추후 입찰에서 최적의 소비전력 제안이 가능하여 입찰 경쟁력 확보가 가능하다.

추가적으로 시뮬레이션 결과를 이용하여 현재 시도 되고 있는 운전지원 시스템의 확대 적용이 가능하고, 지상 연계 및 편성 단위 에너지 최적화 시스템 기술 개발에 응용 할 예정이다.

참고문헌

- [1] M. Domínguez, A. Fernández-Cardador, A. P. Cucala, and R. R. Pecharrmán, "Energy savings in metropolitan railway substations through regenerative energy recovery and optimal design of ATO speed profiles," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2012, 9 (3), 496–504.
- [2] L. A. Baranov, I. S. Meleshin and L. M. Chin', "Optimal control of a subway train with regard to the criteria of minimum energy consumption. *Russian Electrical Engineering*," 2011, 82 (8), 405–410.
- [3] A. R. Albrecht, P. G. Howlett, P. J. Pudney, X. Vu, and P. Zhou, "Energy-efficient train control: The two-train separation problem on level track", *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2015, 5 (3), 163–182.
- [4] S. Lu, S. Hillmansén, T. K. Ho, and C. Roberts, "Single-train trajectory optimization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*," 2013, 14 (2), 743–750.