

수소전기 트램의 성능해석 및 전력분배 제어 연구

Performance Analysis and Power Control Strategy for Fuel Cell Hybrid Tram

김명한*[†], 이원상*, 엄경수*, 강광호*, 조연호*

Myong-Han Kim*[†], Won-Sang Lee*, Kyong-Su Eom*, Kwang-Ho Kang*, Yon-Ho Cho*

초 록 트램은 도시 이미지 개선, 승객 편의성 확보, 공사비 절감 등의 장점으로 주목 받고 있으며 무가선화 요구에 대응하여 배터리 무가선 트램이 개발되고 있으나, 배터리의 적용에 따른 짧은 주행거리, 배터리 수명 및 충전시간 등의 단점이 있다. 따라서 장거리 노선에서는 주행 가능거리가 길고 충전시간이 짧은 수소전기 트램이 대안이 될 수 있다. 본 논문에서는 연료전지-배터리 하이브리드 트램(fuel cell-battery hybrid tram)에 대해 본선 노선 정보를 활용하여 성능을 해석하고 연료전지와 배터리에서 요구되는 에너지를 분석하였으며, 전력 분배 제어를 포함한 시뮬레이션을 통해 전력 소모량과 수소 소모량 등을 예측하였다.

주요어 : 연료전지, 수소전기트램, 시뮬레이션, 배터리

1. 서 론

최근 주목 받고 있는 트램에는 저장, 대차신기술, 무가선 기술 등 신 기술이 적용되고 있으며 국내에서는 2차 전지를 적용한 무가선 저장 트램이 개발되어 실용화 단계에 있다. 하지만 2차 전지 적용에 따른 주행거리 한계 및 충전 시간 문제로 연료전지를 이용한 전동차의 개발 및 상용화가 가속화되고 있다. 본 연구에서는 최신 기술을 적용한 트램에 연료전지와 배터리를 적용한 하이브리드 수소전기트램 개발을 위한 성능을 분석하고 요구되는 에너지와 수소 소모량을 예측하였다.

수소전기 트램은 기존의 전차선을 통한 전원 공급을 연료전지로 대체하고 연료전지의 출력 한계를 보완하고 회생에너지를 재사용하기 위해 리튬 이온(Li-ion) 배터리를 함께 사용한다. 본 연구에서는 대전 2호선 트램 예정 노선의 트랙 정보를 기준으로 차량 성능을 검토하였으며, 연료전지는 현대자동차의 수소전기차 넥쏘(Nexo)에 적용되는 스택을 기준으로 성능을 검토하였다. 아래 그림은 수소전기 트램의 파워 트레인 주요 구성을 나타내고 있다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

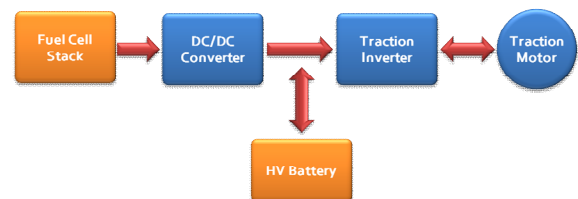


Fig. 1 Schematic Configuration of the Fuel cell Tram

[†] 교신저자: (주)현대로템 기술연구소, 스마트시스템팀 (hans@hyundai-rotem.co.kr)

* (주)현대로템 기술연구소, 스마트시스템팀

시뮬레이션 및 해석을 위한 차량 성능 조건은 아래 표와 같다.

Table 1 Specification for Simulation

Items	Specification
Track	Daejeon Line #2
Running mode	All-out/Coasting
Acceleration rate	1.1m/s ²
Deceleration rate	1.1m/s ²
Max. Speed	60km/h
Fuel cell	95kW x 4
Battery	74.19kWh

요구되는 파워 및 전력 분배 제어를 위한 수식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{req} = P_{fc} \times FC_{eff} + I_{batt} \times (V_{batt} - I_{batt} \times R_{batt})$$

$$P_{com} = P_{fc_net} + P_{batt}$$

연료전지를 효율적으로 사용하고 수소 소모량을 최소화하기 위해서는 고효율 영역에서 출력을 주로 사용해야 하며, 회생 에너지 재사용을 위한 배터리와의 적절한 전력 분배 제어를 수행해야 한다. 트램의 경우 자동차보다 견인 파워가 크고 보조전원에서 요구되는 파워도 크기 때문에 낮은 파워 영역에서의 전력 분배제어는 큰 의미가 없으며, 고출력 영역에서 배터리와의 적절한 전력 분배 제어가 필요하다. 또한 배터리는 연료전지 최대 출력을 초과하는 파워의 공급이 가능하고, 회생에너지의 충전이 가능해야 하며 과충전, 과방전 스트레스를 피하여 수명을 고려한 SOC 영역 제어가 필요하다.

2.2 해석 결과

아래 그림 2와 3은 노선 전구간에서 전속 및 타행 주행 조건에서 각각 요구되는 파워, 연료전지 출력, 배터리 출력 및 SOC와 수소 소모량을 나타낸다.

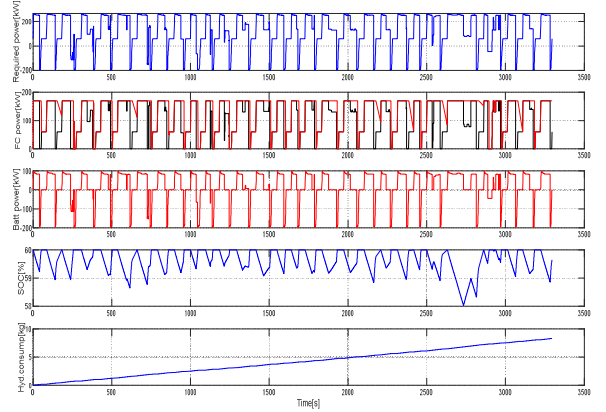


Fig. 2 Power Distribution and Hydrogen Consumption in All-out Mode

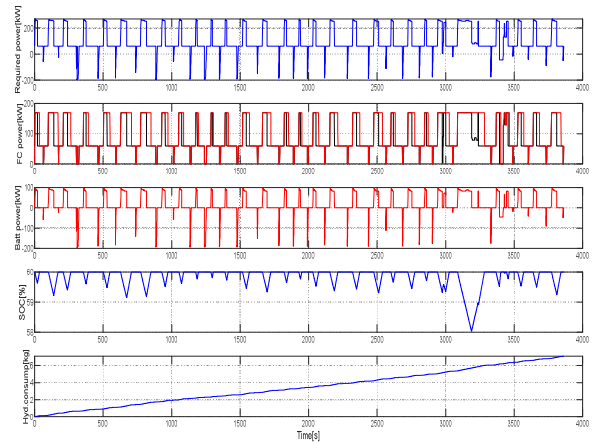


Fig. 3 Power Distribution and Hydrogen Consumption in Coasting Mode

시뮬레이션 결과 값은 아래 표 2와 같고, 수소 소모량은 연료전지 효율을 근사화하여 적용하였다.

Table 2 Modeling

Items	All-out	Coasting
Distance	28.96km	
FC avg. power	134.23kW	102.09kW
Hydrogen consump.	8.29kg	7.08kg

3. 결론

본 연구에서는 수소전기 트램의 성능을 검토하고 효율적인 에너지 관리를 위해 회생에너지의 충분한 재활용을 고려하였으며, 효율

적인 SOC 관리를 위한 전력 분배 제어 전략을 구현하였다. 또한 시뮬레이션 및 성능 해석을 통해 연료전지 및 배터리 파워와 수소 소모량을 제시하였다. 트램의 경우 모든 장치가 지붕에 설치되어 기기 취부에 한계가 있으므로 장치 효율, 수소 소모량, 배터리 및 연료전지의 내구성 등을 종합적으로 고려하여 사양 및 용량의 최적화와 효율적인 전력분배 제어를 지속적으로 구현하고 완성차에서 성능을 검증할 예정이다.

참고문헌

- [1] X. LIU, D. DIALLO and C. MARCHAND
“DESIGN METHODOLOGY OF HYBRID ELECTRIC VEHICLE ENERGY SOURCES: APPLICATION TO FUEL CELL VEHICLES”,
International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, No. 3, pp. 433–441 (2011)
- [2] Julia Schiffer, Oliver Bohlen, Rik W. De Doncker, Dirk Uwe Sauer, Kyun Young Ahn
“Optimized Energy Management for FuelCell-SuperCap Hybrid Electric Vehicles”, IEEE, 2005
- [3] Optimization of Energy Management Strategy and Sizing in Hybrid Storage System for Tram
Yu Wang, Zhongping Yang *, Feng Li, Xingkun An and Fei Lin School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100089, China; 2018
- [4] Simulation and analysis of energy optimization for PEMFC hybrid system
LIU Cheng-ze†, ZHU Xin-jian Department of Automation, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China, 2006
- [5] A. P. Rousseau, R. Ahluwalia, and Q. Zhang,
"Energy Storage Requirements for Fuel Cell Vehicles," SAE 2004-01-1302, 2004.
- [6] J. B. Burl and J. E. Beard, "Control Strategies for a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle," SAE 2001-01-1354, 2001.