

배터리, 슈퍼캡 및 수소 방식 무가선 트램의 성능해석을 통한 특성 분석

Characteristics Analysis of Battery, Super-cap. and Fuel cell Tram through Performance Simulation

김명한*[†], 이원상*, 엄경수*

Myong-Han Kim*[†], Won-Sang Lee*, Kyong-Su Eom*

초 록 트램의 무가선 주행을 위한 방식에는 배터리 방식, 슈퍼캐패시터 방식, 지상 전력급전 방식, 수소전기 트램 등이 상용화 운용되고 있으며 국내에서도 무가선 트램에 대한 관심과 도입을 추진하는 지자체가 늘어나고 있다. 본 논문에서는 특정 동일노선 조건에서 배터리 방식, 슈퍼캐패시터 방식 및 수소전기 트램 3종의 무가선 방식에 대해 시뮬레이션을 통한 주행 가능 여부 및 주행 특성을 분석하고 각 시스템의 장단점과 적합한 솔루션을 제안한다.

주요어 : 무가선, 트램, 배터리, 슈퍼캐패시터, 수소, 시뮬레이션, 해석

1. 서 론

무가선 방식에는 배터리, 슈퍼캐패시터, 지상 전력급전 방식(접촉/무접촉) 및 수소전기 트램 등 여러 종류가 있어 해당 노선에 적합한 솔루션을 적용해야 한다. 본 논문에서는 이미 시장에서 검증되고 상용화된 배터리 및 슈퍼캐패시터 방식과 신규로 개발되어 상용화 단계에 있는 수소전기 트램에 대해 성능을 검토하고 최적 솔루션을 제안한다.

2. 본 론

각 시스템의 배터리, 슈퍼캐패시터 및 연료전지 사양은 무가선 트램에서 요구되는 성능을 만족하고 동일 차량에서 설치가 가능한 범위 안에서 선정이 되었으며 적용된 노선 정보는 아래와 같다. 또한 회생 성능의 경우 에너지 저장 장치(ESS)의 특성에 따라 조정되었으며

나머지 성능은 동일한 조건을 적용하였다.

Table 1 Simulation conditions

Items	Specification
Track	Daejeon Line #2
Track length	34km
Dwell time	30s
Running mode	All-out
Accel/Decel. rate	1.1m/s ²
Max. opt. speed	50km/h

2.1 배터리 시스템

배터리에 의한 무가선 방식은 에너지 밀도가 높아 중거리 주행이 가능하고, 비상 상황에서도 운영 시나리오를 다양하게 가변할 수 있는 자유도를 갖는다. 하지만 아래 시뮬레이션 결과와 같이 노선에 구배가 많고 거리가 길 경우에는 1회 순환이 불가능할 수 있고 주행 후에는 장시간 충전이 필요하다. 따라서 별도의 충전 시간의 확보가 어렵고 연속 주행을 하기 위해서는 운행 중에도 배터리 충전이 가능한 유가선 구간이 필요하다.

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

* (주)현대로템 기술연구소, 스마트시스템팀

3. 결론

본 연구에서는 배터리, 슈퍼캡 및 수소형식의 트램 타입 별 무가선 주행 특성을 분석하였다. 배터리 트램의 경우 중거리 노선을 충전 없이 무가선으로 주행이 가능하나 배터리 수명 및 충전 시간이 고려되어야 하며, 슈퍼캡의 경우 낮은 에너지 밀도로 인한 짧은 주행거리로 역사마다 충전이 필요하며 역간 거리 및 구배 등의 노선 제약이 따른다. 수소전기 트램은 수소 탱크의 수량을 조정하여 장거리 운행이 가능하나 비용 및 충전설비 등이 고려되어야 한다. 따라서 무가선 트램의 적용을 위해서는 각 방식의 특성과 노선 특성 등을 종합적으로 분석하여 적절한 방안을 선택해야만 하며, 추가적으로 비상 상황, 차량 성능, 운행 시나리오 등의 최적화 및 관련 법규의 사전 검토가 필요하다.

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

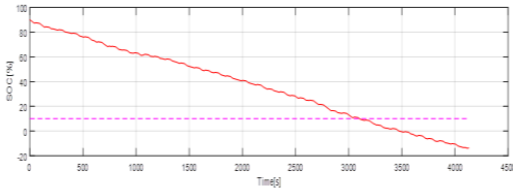


Fig. 1 Battery energy vs Time

무가선 주행을 할 경우 약 25km까지 주행이 가능하여 전구간 주행이 불가능하다.

2.2 슈퍼캡 시스템

슈퍼캡 방식의 경우 파워 밀도는 크지만 에너지 밀도는 낮아 매 역사에서 짧은 시간 동안 충전이 필요하다. 또한 낮은 에너지 밀도로 인해 역간 거리가 길고, 구배가 심한 노선에는 적합하지 않다.

아래 그림은 매 역사에서 30초간 충전 후 주행시의 에너지 상태를 나타내고 있다.

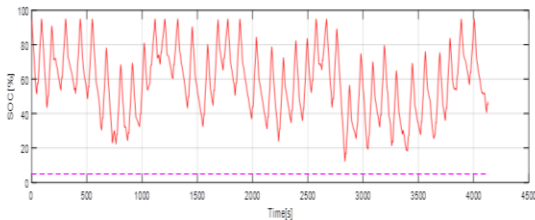


Fig. 2 Super-cap. Energy vs Time

2.3 수소 시스템

수소전기 트램은 수소 저장 탱크의 용량만 확보하면 장거리 주행이 가능하다. 수소 소모량은 전력분배 제어 방법 및 배터리 SOC 관리 방안에 따라 달라질 수 있으나 시뮬레이션 결과로는 전구간 1회 주행에 약 16kg의 수소가 소모되는 것으로 확인되며, 수소 탱크의 수량에 따라 주행 거리의 확대가 가능하다.

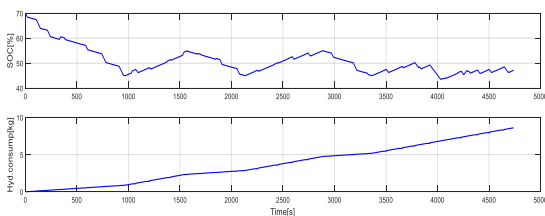


Fig. 3 Battery SOC and Hydrogen Consumption