

연료전지 구동차량을 이용한 전차선로 전압강하 보상방안 연구

A Study on Voltage Compensation using Fuel Cell Vehicle in Railway

김주락*[†], 창상훈*

Joorak Kim ^{*†}, Sang-Hoon Chang ^{*}

Abstract Fuel cell vehicle is composed of a traction motor and PCS for controlling its output. If PCS can be controlled for connecting fuel cell vehicle to catenary(traction power supply system), the compensation of power quality by fuel cell vehicle is available. Specially, fuel cell vehicle can be everywhere in rail. So, the desired compensation is available the desired location. This paper presents the compensation against voltage drop in railway system using fuel cell vehicle.

Keywords : Fuel cell, Traction power supply system, voltage drop

초 록 전세계적인 녹색성장의 기조에 따라 철도분야에서도 신재생 에너지의 활용 등 다양한 방식으로 그 적용성이 연구되고 있다. 본 연구에서는 연료전지(Fuel Cell)을 에너지원으로 하여 구동되는 철도차량을 이용하여 급전시스템의 전압강하를 보상하는 방법에 관한 것이다.

연료전지 구동 차량은 연료전지, 연료전지의 출력을 제어하는 PCS 및 견인전동기로 구성되어 있어 PCS의 제어 방법에 따라 연료전지의 출력을 전차선로로 내보내어 전압강하 보상에 활용할 수 있을 것이다. 연료전지 차량의 이동성에 기반한 자유로운 전압강하 보상위치와 PCS 제어에 따른 출력변화 등에 기초하여 전차선로의 전압강하 보상에 이용하는 것이다. 본 논문에서는 연료전지 차량의 보상용량 및 보상위치에 따른 전압강하 보상 효과에 대하여 검토한다.

주요어 : 연료전지, 급전시스템, 전압강하 보상

1. 서 론

연료전지는 일반적인 전지와는 다르게 연료를 소모하여 전력을 생산한다. 연료전지의 발전 효율은 40~60% 정도로 대단히 높으며, 반응 과정에서 나오는 배출열을 이용하면 전체 연료의 최대 80%까지 에너지로 바꿀 수 있다. 게다가 천연 가스와 메탄올, LPG(액화석유가스, propane gas), 나프타, 등유, 가스화된 석탄 등의 다양한 연료를 사용할 수 있기 때문에 에너지자원을 확보하기 쉽다. 또한 연료를 태우지 않기 때문에 지구 환경보호에도 기여할 수

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원(jrkim@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 (11 pt)

있다. 또한 질소산화물(NOx)과 이산화탄소의 배출량이 석탄 화력 발전의 각각 1/38과 1/3 정도이며, 소음도 화력발전 방식에 비해 매우 적다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 분산 전원용 발전소, 열병합 발전소, 더 나아가서는 무공해 자동차의 전원 등에 적용되고 있다.[1]

본 연구에서는 연료전지로 구동되는 철도차량을 이용한 전압강하 보상을 검토한다. 연료전지의 연료의 다양성, 친환경성 및 고효율의 장점을 철도차량에 적용하여 기존 디젤열차를 대체할 수 있는 차량의 개발이 가능하다. 연료전지 차량의 장점은 독립적인 전원 구조를 갖고 이동이 가능하다는 것이다. 이에 착안하여 본 논문에서는 길게 뻗은 전차선로의 전압강하 발생 지점에 연료전지 차량을 이용하여 전압강하 보상을 할 수 있어 그 효과를 검증한다.

2. 본 론

2.1 연료전지 구동 차량

2.1.1 연료전지 구동 차량의 구성

연료전지 구동차량은 기존 디젤전기동차와 같이 차량 내부에 견인원이 구비되어 있다. 연료전지에서 전기 출력이 발생하고, 전력변환기(Boost converter 등)를 통하여 차량을 구동할 수 있는 전력으로 변환하여 견인전동기를 구동하는 방식이다. Fig. 1과 2는 각각 연료전지 구동차량의 개념도와 연료전지를 포함한 구동 계통의 예를 도식한 것이다.



Fig. 1 The fuel cell vehicle

한편, 철도는 시변 특성이 강한 부하인 반면, 연료전지의 출력은 부하추종 특성이 빠르지 못하다. 따라서 차량에서 견인 전력이 필요 없을 경우 출력되는 별도의 배터리를 이용하여 저장 후 사용할 수 있다. 따라서 별도의 저장 매체도 연료전지 차량에서 필요하다.

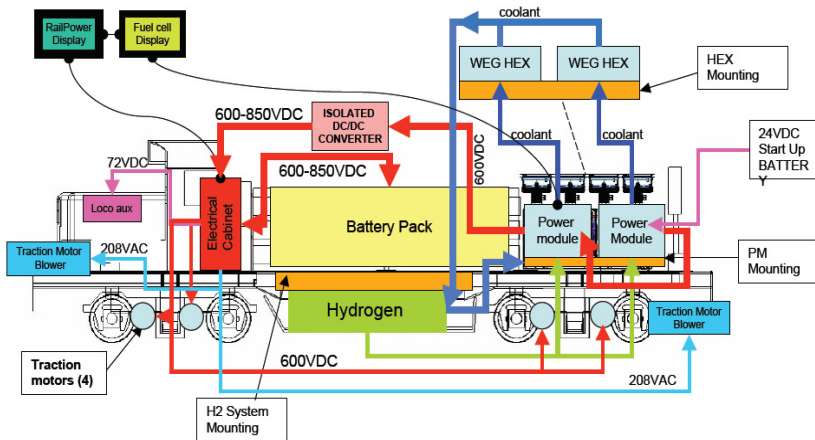


Fig. 1 The propulsion system of fuel cell vehicle

2.1.2 연료전지 구동 차량의 계통 연계

연료전지의 빠르지 못한 부하 추종성으로 인한 저장매체가 필요하듯이 연료전지의 출력을 전력변환기의 적절한 제어가 따라준다면, 급전시스템과의 계통 연계도 가능할 것이다. 즉, 전철변전소와는 별개의 이동 가능한 전원이 되는 것이다. 물론, 계통 연계를 위해서는 급전 시스템과의 동기화, 적절한 출력 등이 선결되어야 하지만 충분히 고려할 만한 것이다.

Fig. 3은 연료전지차량을 SP부근에 정차시켜 급전시스템과 연계한 후 전압강하 보상에 이용한 경우를 도식화한 것이다.

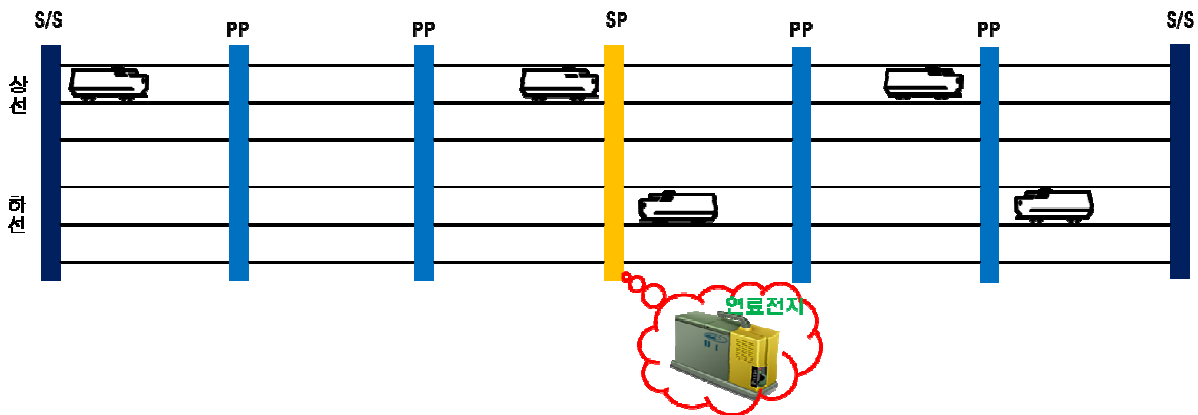


Fig. 3 The extended traction power feeding condition with fuel cell

2.2 전압강하 보상 시뮬레이션

2.2.1 모델링

연료전지 구동차량을 전차선로에 직접 투입하여 계통연계를 통하여 전압강하 보상에 이용하였을 때 그 효과를 검토하기 위해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해서는 급전시

시스템의 모델링과 함께 연료전지 구동차량의 모델링도 필요하다. 급전시스템의 모델링은 이미 수행된 연구를 통하여 모델링이 되어 있다.[2] 연료전지 구동차량의 경우 급전시스템과의 동기화를 통하여 동일한 주파수 및 동일한 수준의 전압으로 연계되어야 하기 때문에 다음과 같은 사항을 가정하여 일반차량과 동일하게 모델링 하였다.

- 연료전지 구동차량은 일정한 용량의 전력이 출력되는 것으로 가정함.
- 일반 차량과 동일하게 모델링 하되 전력을 소모하는 것이 아닌 계통으로 방출하는 것으로 모델링함.

이와 같은 고려 사항을 기본으로 수학적 모델링하였다.

2.2.2 시뮬레이션 계통

연료전지 구동차량의 전압강하 보상 효과를 검토하기 위한 시뮬레이션은 전압강하가 최대가 되는 조건인 연장급전 계통에서 수행하였다. 전철변전소 고장으로 인한 연장급전이 발생하고, 정상적인 차량 운행을 위하여 연장급전을 시행하게 되면 전압강하가 발생하게 된다. 이때, 연료전지 차량은 연장급전 구간으로 진입하여 그 출력을 급전시스템으로 송출하게 되면 전압강하 보상이 이루어지게 된다.

이때, 연료전지 차량의 위치는 전압강하 보상 효과가 가장 큰 곳에 위치하여야 하며, 그 위치는 연장급전을 시행하는 전철변전소와 부하 들의 위치에 따라 달라질 것이다.

2.2.3 시뮬레이션 결과

앞서 기술하였듯이 연료전지 구동차량의 전압강하 보상은 계통연계를 통하여 이루어지며, 본 논문에서는 그 효과를 검토하는 시뮬레이션을 수행하였다. 앞서 설명하였듯이 연장급전계통에서 연료전지 구동차량의 출력을 1MW ~ 5MW까지 변화시켜가며, 전압강하 보상효과의 변화를 계산하였으며, 그 위치도 구분소와 고장 변전소로 변화시켜가며 계산하였다. 즉, 연료전지 구동차량이 구분소에 위치한 경우는 Fig. 3과 같으며, 고장 변전소에 위치한 것은 Fig. 4와 같다.

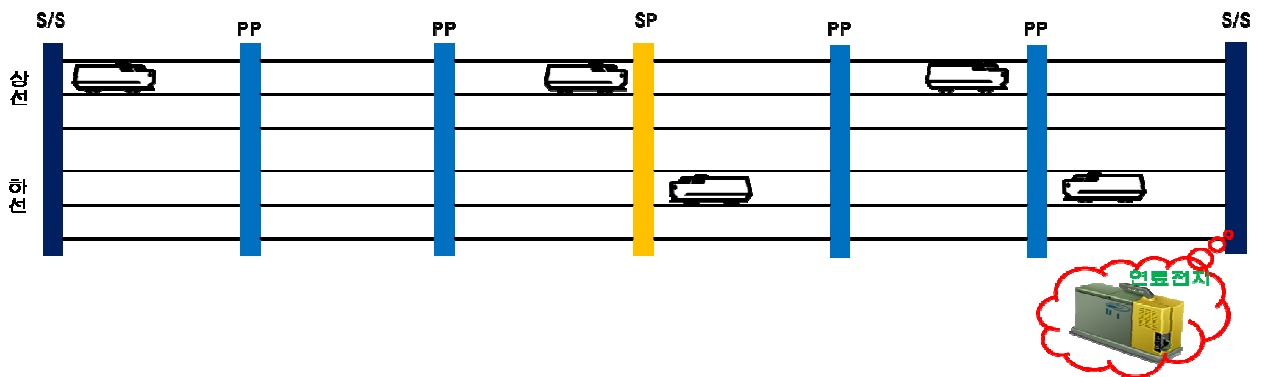


Fig. 4 The extended traction power feeding condition with fuel cell in fault S/S

먼저, Fig. 3과 같이 연료전지 구동 차량이 구분소에 위치하였을 경우 그 용량을 1MW, 3MW 및 5MW로 변화시켜가며 시뮬레이션 하였을 때 결과는 Fig. 5 ~ 7과 같다. Fig. 5는 개소별 전압을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 연료전지 구동 차량이 보상을 함으로써 전압강하가 줄어들었음을 알 수 있다. 연료전지 차량의 보상이 없을 경우 고장 S/S의 전압은 19.22[kV]였지만, 연료전지 차량으로 보상하였을 경우 19.88[kV]로 상승하였음을 알 수 있다. 이때, 상,하선에 위치한 차량들의 전압은 Fi.6, Fig. 7과 같다.

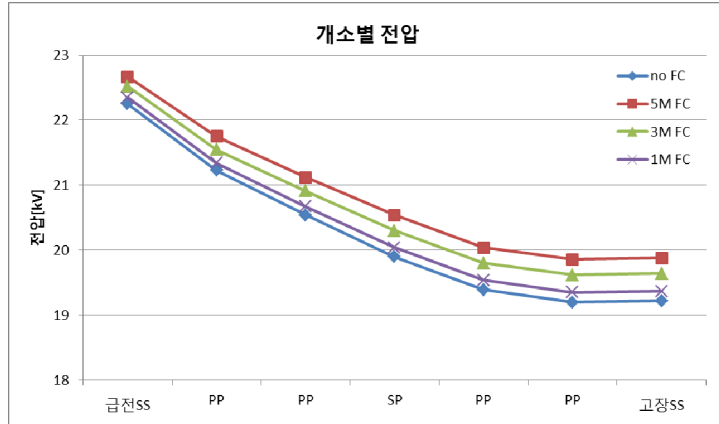


Fig. 5 The simulation result with fuel cell vehicle in SP

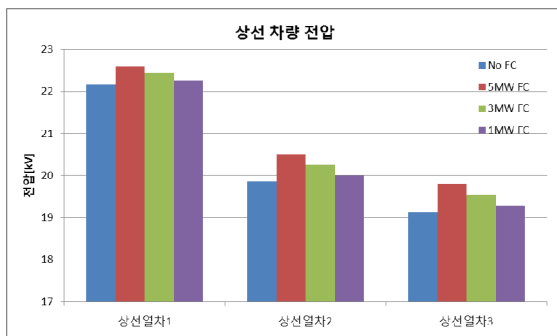


Fig. 6 The result of train in upward rail with FC in SP

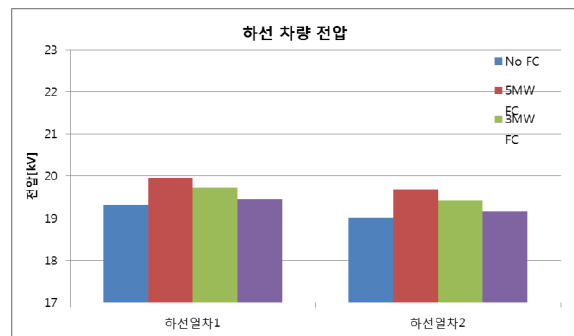


Fig. 7 The result of train in downward rail with FC in SP

연료전지 차량을 고장 전철변전소로 이동하게 되면 연장급전구간의 최 말단에서 전압강하 보상을 하는 것이 된다. 이렇게 전압강하가 가장 크게 발생하는 개소에서 보상을 하게 되면 구분소에서 하는 것보다 효과가 클 것으로 예측된다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 9 ~ 11과 같다. 예상 했던 것처럼 고장 변전소의 전압은 보상 후 20.1[kV]까지 상승한 것을 볼 수 있다. 구분소에 위치하였을 때보다 0,22[kV] 상승하였다. 이때, 상,하선에 위치한 차량들의 전압은 Fi.10, Fig. 11과 같다.

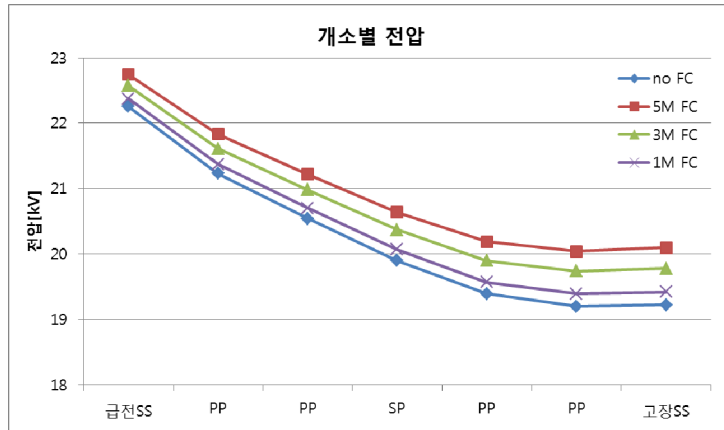


Fig. 8 The simulation result with fuel cell vehicle in fault S/S

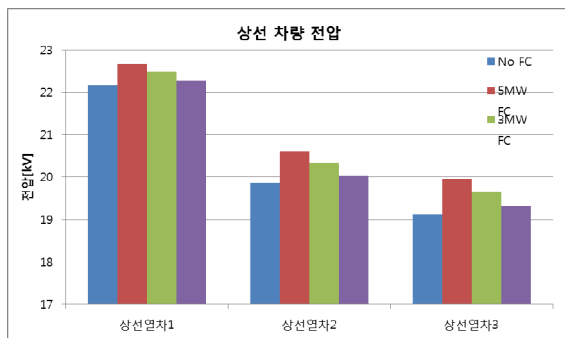


Fig. 9 The result of train in upward rail with FC in SP

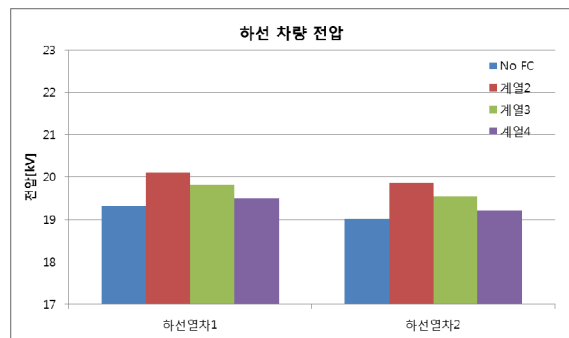


Fig. 10 The result of train in downward rail with FC in SP

3. 결론

본 논문에서는 연료전지 구동차량을 통한 계통연계의 가능성을 검토하였다. 특히, 연장급전 조건에서 심각하게 나타나는 전압강하 현상을 보상하였을 때 그 효과를 계산하였다. 연료전지 구동 차량이 계통에 연결되어 그 출력을 전차선으로 송출하게 되면, 기존의 전철변전소와는 별도의 새로운 전원이 투입된 것과 같게 되어 전압강하 보상이 이루어지게 된다. 연료전지 구동 차량을 이용한 보상은 기존의 정지형 보상설비와는 달리 열차의 이동성에 기반하여 보상이 필요한 위치에 배치할 수 있다는 위치 가변성이 가장 큰 장점이다. 향후 연료전지 구동 차량의 개발시 이러한 적용성을 고려하여 전력변환기의 제어 방안을 개발할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] S. G. Meibuhr, *Electrochim. Acta*, 11, 1301 (1966)
- [2] 창상훈, “전기철도 급전시스템의 다단자망 모델링, 정태해석과 전력품질 평가”, 홍익대학교 박사학위 논문, 2001
- [3] 한국철도기술연구원, ‘전기철도 급전시스템의 안정화 분석연구’, 최종보고서, 2012