

전기철도시스템의 저탄소 녹색성장을 위한 에너지저장시스템에 관한 연구

이한민*, 김길동**
한국철도기술연구원

A Study on Energy Storage System for Low Carbon, Green Growth of Electric Railway System

Han-Min Lee*, Gil-Dong Kim**
Korean Railroad Research Institute

Abstract - The recent environmental protection trend requires more strict energy saving, therefore every transportation system should reduce energy consumption to the minimum value. High-efficiency operation system, energy saving and CO₂ emissions shall be addressed as important issue in railway system. These issues are the most essential factors of railway, compared to major public transportation system. Recently, saving energy in the electric railway system has been studied. For such new energy saving, the energy storage system is considered for saving energy. Energy saving is possible by efficient use of regenerated energy. Regenerated energy is recycled amongst vehicles by mean of charge and discharge corresponding to powering and braking of electric vehicle operations. This energy saving contributes to cut CO₂ to reduce greenhouse gas emissions. Recycling regenerated energy demonstrate significant effect on peak cut of consumption energy in railway substation. Absorption of excess energy avoids regeneration failure due to high traction voltage. Therefore, the energy storage system is needed to be adopted to use regeneration energy when the vehicle is braking.

하여 저장부에 회생전력을 저장하고 전차선 전압이 세팅 전압 이하가 되면 공급모드로 전환하여 저장된 전력을 공급한다.



<그림 2> 에너지저장시스템 구성

3.1 시스템 외형

에너지저장시스템은 그림 3과 같이 슈퍼캐패시터가 직·병렬로 구성된 저장부, 전력변환장치와 고속도차단기가 있는 전력변환부(차단부 포함)로 제작되었다.



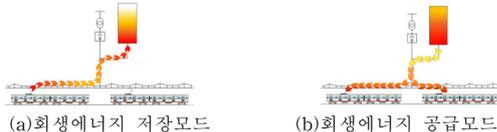
<그림 3> 에너지저장시스템 H/W 구성

1. 서론

전동차에서 사용되는 소비전력의 약 40%가 회생에너지로 발생되어 전차선에 되돌려 보내지고, 이 에너지가 사용되지 않고 낭비되고 있으므로 낭비되는 회생에너지를 활용할 필요가 있다. 본 논문은 도시철도 구간에서 전동차 제동시 발생한 회생에너지를 에너지저장시스템에 저장하고, 저장된 에너지를 전동차 출발시에 전동차에 공급하는 것으로 전동차운행 중 발생하는 에너지의 재활용에 관한 것이다.

2. 에너지저장시스템 개요

에너지저장시스템은 직류 도시철도 구간에서 전동차 제동시 발생한 회생에너지를 에너지저장시스템에 저장하고, 저장된 에너지를 전동차 역행시에 전동차에 공급하는 것으로 전동차 운행 중 발생하는 에너지를 재활용하는 시스템이다. 즉, 에너지저장시스템은 변전소의 모선에 연결되어 그림 1(a)와 같이 전동차가 회생할 때 전동차에서 발생된 에너지에 의해 전차선 전압이 올라가면서 에너지가 에너지저장시스템에 저장되고, 그림 1(b)와 같이 전동차가 역행을 하면 전차선 전압이 내려가므로 에너지저장시스템은 이 에너지를 전차선을 통해 전동차에 공급하게 된다.



<그림 1> 회생 에너지 저장 및 공급 모드

3. 에너지저장시스템 구성

그림 2에 에너지저장시스템 구성을 나타낸다. 전체적인 구성은 차단부, 전력변환부, 저장부로 구성된다. 차단부는 변전소와 인터페이스를 수행하기 때문에 전차선 환경에 영향을 주지 않아야 하며 문제 발생시 신속하게 에너지저장시스템과 전원을 분리할 수 있도록 한다. 저장부는 여러개의 슈퍼캐패시터를 직·병렬 연결하여 구성되는데 전력변환부를 통하여 전달받은 회생전력을 저장하게 된다. 이때 슈퍼캐패시터의 용량은 운행노선의 부하용량에 따라 결정된다. 전력변환부는 전차선 전압의 상태를 입력받아 전차선 전압이 세팅 전압 이상이 되는 경우 저장모드로 전환

3.2 그래픽 디스플레이

에너지저장시스템은 저장, 기록되는 현재의 상태와 누적되는 회생에너지량 및 금액을 실시간으로 확인할 수 있다. 또한 사용자에게 현재의 상태를 전송하며 문제시 시스템을 정지 또는 신속하게 고장을 조치할 수 있도록 정보를 제공한다. 이 시스템에서는 특히 사용자 인터페이스를 위해 터치스크린 방식의 그래픽 패널이 이용된다. 기본 화면으로는 월별 회생량을 그래프로 표시하며, 이 화면에서 월별 선택 버튼을 누르면 일별 회생 전력량을 확인할 수 있다.



<그림 4> 월별 회생 전력 그래프

일별 회생 전력량을 확인하기 위해 원하는 달을 선택하게 되면 선택된 달에 해당하는 모든 일별 회생 전력량을 그래프 화면에서 일단위로 보여주며 시간단위로도 보여준다. 일별 회생 전력 그래프 화면의 날짜 부분의 일단위 표시 부분을 터치하면 일단위 선택 화면 창이 떠오르며 날짜 선택 후 시간별 버튼을 누르면 선택된 날의 회생 전력량을 시간단위로 보기 쉽게 보여주는 것이 특징이다.



(a) 일별 회생 전력 그래프 (b) 시간별 회생 전력 그래프

<그림 5> 일, 시간별 회생 전력 그래프 화면

4. 에너지저장시스템 개요

도시철도 구간에 에너지저장시스템을 적용함으로써 발생하는 효과는 회생에너지를 저장하고 공급하면서 발생하는 에너지절감이 먼저 고려되어지고 추가적으로 부가적인 효과가 예상된다. 에너지저장시스템 적용 효과는 크게 5가지로 구분할 수 있다.

4.1 회생에너지 활용에 의한 에너지 절감

- 현재 지하철 전동차 회생에너지는 차량 속도를 감속할 때 많은 양이 발생하지만 전차선에서 회생에너지 활용은 극히 적고, 다만 출발 전동차와 회생 전동차가 동시에 이루어 질 경우에는 일부분 활용이 되지만 이 경우는 높지 않아 회생에너지 활용이 떨어지고 있는 실정이다. 따라서 전차선에서 낭비되었던 회생 에너지를 활용하여 전력비용 절감이 가능하다.
- 도시철도 운영기관 10개 노선에 대하여 에너지저장시스템 적용시 에너지 절감율을 분석 하였다. 분석 결과 평균 25%로 나타났다.



<그림 6> 에너지저장시스템 적용에 의한 도시철도 운영기관 에너지절감율

4.2 전압안정화에 의한 유지보수비용 절감

- 전동차 역행시 전차선 전압은 강하하고, 반대로 제동시 발생되는 회생에너지는 전차선 전압을 상승시켜 기준전압 1500V인 경우, 전차선 전압은 1000V~1800V로 최대 약 40%까지 전차선 전압이 변동하게 된다. 이러한 전압의 변동은 전동차 전자기기에 악영향을 미치고 있는데, 에너지저장시스템의 도입으로 전차선 전압을 일정하게 안정화시켜 이 영향을 줄일 수 있으며, 에너지저장시스템에 의해 전동차 전기제동의 확대 사용이 가능하여 브레이크 슈 마모 등이 줄어 전동차 유지보수기간 및 차량기의 수명을 높여 운영기관의 유지보수 비용을 절감할 수 있다.

4.3 피크 전력을 줄여 전력비용 절감

- 전기요금은 매년단위로 계약을 하며, 7~9월 중 전기 사용량이 가장 많은 시간대의 15분간 평균 전력량을 측정해 향후 1년간의 기본요금을 적용하게 된다.
- 따라서, 에너지저장시스템에 저장된 에너지가 공급되어 피크치 소비에너지를 줄이게 되면 도시철도 운영기관의 피크 전력요금을 매년 절감할 수 있다.

4.4 에너지절감에 의한 CO2 배출삭감

- 에너지저장시스템은 전동차 운행에 필요한 전기를 절약할 수 있어 지구 온난화 주범인 CO2 배출가스 삭감에 기여할 수 있다. 삭감된 CO2 배출가스는 탄소배출권으로 획득이 가능하여 범 국가적 차원에서 전력비용 절감이 가능하다.

4.5 기타 효과

- 변전소 건설단계에서 에너지저장시스템 적용에 의해 변전소간 거리를 확대할 수 있어 변전소 개수 축소가 가능하고,
- 기존 시스템에 대해서는 변전소 용량 축소 가능하며,
- 전동차는 DB unit가 필요 없어지게 되어 유지보수비가 줄어 들고, 회생효율이 사라지게 된다.
- 또한, 전차선 전압 안정화로 전력계통 노이즈 저감에 긍정적인 효과가 있을 것이다.

5. 적용효과 간략검토

에너지저장시스템 적용 효과에 대해 이해를 돕기 위해 가상 노선을 정하여 설명하고자 한다.

5.1 사례 모델

- 1) 연간 전동차 전력사용량은 50,000,000kwh이며 kwh당 약 90일 경우, 전동차 사용량 요금은 45억원, 기본요금은 14억원, 총 전력요금은 59억원.
- 2) 운행되는 전동차 편성수는 약 25편성.
- 3) 4년마다 전장품 중수선 검사 유지보수 비용 : 4억
- 4) 변전소 1개 건설비 25억 가정
- 5) 전 변전소에 에너지저장시스템 적용 및 에너지저장시스템 유지보수 기간 : 10년

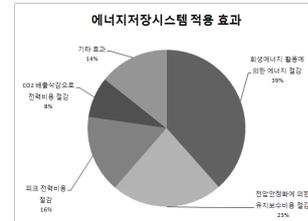
5.2 효과 분석

- 1) 회생에너지 활용에 의한 에너지 절감
 - 에너지저장시스템 적용에 의한 에너지절감은 사용에너지의 평균 약 25%정도이나 그림 9에서 가장 악조건을 가정해 가장 낮은 15%를 적용
 - 50,000,000kwh x 15% = 7,500,000kwh
 - 7,500,000kwh x 90일 = 6.75억원/년
- 2) 전압안정화에 의한 유지보수비용 절감
 - 전압안정화에 의해 전장품이 안정화되어 전장품관련 중수선 검사가 4년에서 5년으로 충분히 늘어날 수 있다. 따라

서 25년 전동차 사용년수를 감안할 때 4년 주기는 총 6회 검사가 이루어지는데, 5년 주기는 총 5회 검사가 이루어져 1회 유지보수 비용 4억이 편성당 절감 가능하다.

- 4억/년 x 25편성 = 100억원/25년
 - 4억/년
 - 3) 피크 전력을 줄여 전력비용 절감
 - 피크전력 절감 가능하여 기본요금 20%를 절감할 수 있다면, 단순 계산으로도 2.8억원을 절감할 수 있음.
 - 14억원 x 20% = 2.8억원/년
 - 4) 에너지절감에 의한 CO2 배출삭감
 - 우리나라 CO2 배출량 계수는 0.424(t/kwh)이고 1Euro 당 1800원으로 가정하면, 절감에너지 7,500,000kwh를 탄소배출권 금액으로 환산할때 약 5.75억원에 해당함.
 - 7,500,000kwh x 0.424kg/kwh / 1000 = 3,180톤
 - 3,180톤 x 26Euro x 1800원/Euro = 약 1.48억원/년
 - 5) 기타 효과
 - 변전소 건설단계에서 에너지저장시스템 적용에 의해 변전소간 거리 확대로 변전소 1개 축소 가정.
 - 변전소의 각 부품마다 내구연한이 다르지만 20년으로 가정.
 - 변전소 건설비 및 20년간 유지보수 비용을 감안하여 50억 원으로 가정
 - 50억원 / 20년 = 2.5억원/년
- 따라서 연간 17.53억을 절감할 수 있으며, 10년간 175.3억원을 절약할 수 있을 것이다.

그림 7 같이 회생에너지 활용에 의한 에너지절감효과가 가장 크지만 나머지 약 60%에 해당하는 유지보수비용 절감, 피크 전력비용 절감 등도 상당히 큰 부분을 차지하는 것으로 분석되었다.



<그림 7> 에너지저장시스템 적용 효과 분석

3. 결 론

한국철도기술연구원은 도시철도 구간에서 전동차 제동시 발생한 회생에너지를 에너지저장장치에 저장하고, 저장된 에너지를 전동차 출발시에 전동차에 공급하는 것으로 전동차운행 중 발생하는 에너지를 재활용할 수 있는 에너지저장시스템을 개발하였다.

- 에너지저장시스템 적용 효과는 다음과 같다.
- 회생에너지 재활용에 의한 전동차 사용에너지 절감,
 - 재활용 에너지에 의한 피크전력 절감
 - 전차선전압 안정 및 안정된 전차선 전압에 의해 전동차 전장품 신뢰성 향상 및 전동차 전기제동의 확대 사용에 의해 브레이크 슈 마모 등이 줄어 전동차 유지보수비용 절감
 - 에너지절감에 의한 CO2 배출가스 감소의 효과
- 에너지저장시스템의 도입은 도시철도 운영기관의 경영개선, 시스템 안정화 및 저탄소 녹색성장 정책에 부합하는 것으로서 이 제는 선택이 아닌 필수이다. 따라서 이 에너지저장시스템은 고유가 시대에 도시철도 운영기관의 에너지 절감을 위한 가장 현실적인 대응 방안으로서 국가발전에 기여할 것으로 예상된다.

[참고 문헌]

- [1] Hanmin Lee, Gildong Kim, Changmu Lee, "Development of ESS for Regenerative Energy of Electric Vehicle", WCRR 2008
- [2] Hanmin Lee, Gildong Kim, Sehchan Oh, Wootae Jeong, "A Study on Effects of Energy Saving by applying Energy Storage System", ICEE 2008
- [3] Hanmin Lee, Sehchan Oh, Changmu Lee, Gildong Kim, "Factory test for Development of Energy Storage System", International Conference on Control, Automation and Systems 2008
- [4] 김길동, 이한민, 오세관, "도시철도 회생 에너지저장시스템 설치 및 시험", 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, 2008
- [5] 한국철도기술연구원, "에너지저장시스템 기술개발 3차년도 보고서", 2008. 10
- [6] Hanmin Lee, Gildong Kim, Changmu Lee, "Analysis for EDLC Application on Electric Railway System", PCC nagiya 2007
- [7] 이한민, 김길동, 이장무, "에너지저장장치의 설치위치에 관한 연구", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문 춘계학술대회 논문집, 2007