

전동차 회생 에너지 저장 시스템 개발에 관한 연구 Development of recycle energy storage system on electric rail car

김길동*
Kim, Gil-dong

김종대**
Kim, Jong-Dae

이한민**
Lee, Han-Min

ABSTRACT

There are operated the six thousand train in the interior of a country. 95% of them are possible usage of resuscitation. Especially, Among them VVVF-Inverter vehicle has a merit of the highest recycle rate. but we don't use a apt recycled energy. Although the existing recycle energy used inverter method supply with electric power, it is decided in accordance with the state of sources. So efficiency of recycled electric power is of poor quality and catenary-voltage-fluctuation be generate because of recycled electric power. and it is able to affect system of safety train service. We'll research the method of supply according to wire condition after storing recycle energy made during train's stopping relation to Advanced EMU Research. Those methods are divided SMES, Fly-Wheel and Supercapacitor. and Considering the both economical efficiency and system application, we'll develop recycle energy storage system suitable our country condition.

1. 서 론

우리나라는 6000량 이상의 전동차량이 운행되고 있다. 이 중 95% 이상의 차량은 회생이 가능한 시스템 구조로 되어 운행되고 있다. 그중에서도 특히 VVVF 인버터 차량은 회생율이 높은 시스템이나 회생된 에너지 활용이 떨어지고 있는 상황이며, 대내적으로는 유가 상승으로 인하여 에너지 활용이 절실히 요구되는 시점이다. 기존의 인버터 방식을 활용한 전력 회생은, 전원에 전력을 회생하였으나, 전원의 상태에 따라 정해지기 때문에 회생전력사용이 효율적이지 못했고, 또한 회생전력으로 인한 가선 전압 변동 요인도 발생하고 있어, 시스템 안전 운행에 영향을 미칠 수도 있다.

이러한 요인들을 해결하고 효율적인 전동차 회생에너지를 활용하기 위한 방법으로 'SMES'와 '플라이휠' 및 'Supercapacitor' 와 같은 방식이 있으며 이러한 방법들은 전동차 정차 시 발생하는 에너지를 저장장치에 저장하여 가선의 조건에 따라 공급하여 주는 방식이다. 이에 본 논문에서는 차세대 핵심 기술 개발과 관련하여 전동차 회생에너지를 활용하기 위한 방식들을 제시하고, 회생에너지를 사용함으로써 생기는 경제적 이익 및 시스템 적용성을 고려하여 국내 전동차량에 적합한 회생 에너지 저장 시스템을 개발하기 위한 방향을 논의할 것이다.

*책임저자 : 한국철도기술연구원, 정회원

**한국철도기술연구원, 정회원

2. 전동차 회생에너지 저장시스템 개요

그림 1에서와 같이 감속하는 전동차(회생차량)은 감속시 순간적으로 회생에너지를 발생시키며, 이때 생성된 에너지를 효율적으로 에너지 저장시스템에 저장하였다가 역행차량에 필요한 에너지를 공급해주는 방식이다.

즉, 감속하는 차량에서 회생되는 잉여 회생에너지(직류전력)를 교류전력으로 변환하여, 그 에너지를 활용하는 것을 목적으로 한 시스템이다.

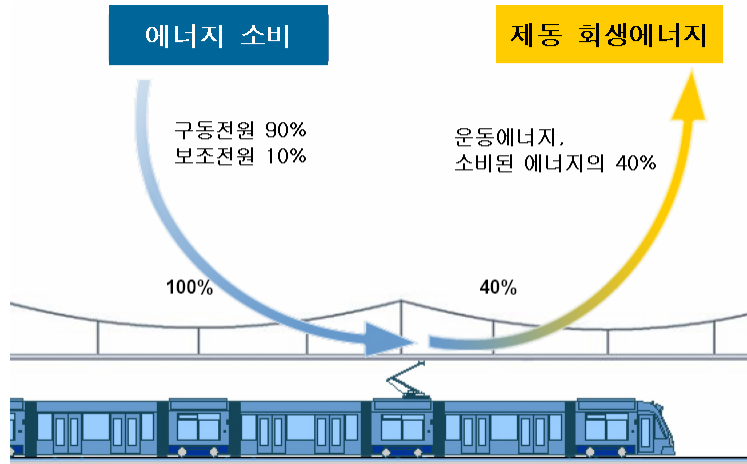


그림 1. 회생 에너지 저장시스템의 개념도

일반적으로 두 차량의 감속과 운행이 동시에 발생하는 경우에는 별도의 에너지 저장과정을 거치지 않고, 감속하는 전동차에서 회생된 에너지는 운행 시작하는 전동차에 전달하는 방식으로 전력이 소모될 수 있지만, 전동차 운전 시력이 맞지 않는 경우에는 전력 소비가 심화된다. 이러한 문제점을 해결할 에너지 저장시스템은 변전소의 모선에 연결되어 차량이 회생할 때 차량에서 발생된 전력에 의해 전차선의 전압이 올라가면 이 에너지가 에너지 저장장치에 저장되고, 차량에 역행을 하면 전차선 전압이 내려가므로 에너지 저장장치는 이 에너지를 전차선을 통해 차량에 공급하게 되는 방식이다.

그림 2(a,b)에서는 이러한 원리들을 개념적으로 설명하였다.



그림 2(a). 전동차 감속시 에너지 저장

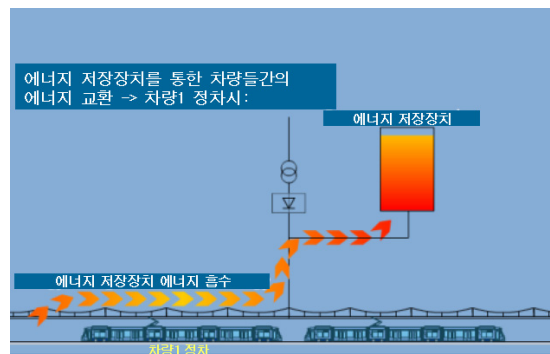


그림 2(b). 전동차 가선전압 부족시 차량공급

그림 2(a)는 전동차가 감속시 추진인버터시스템이 발전기로 동작하여 에너지를 발생하며 가선전압보다 상상하게 됨으로써 에너지 저장장치에 전력을 공급하는 방식을 나타내고 있

다. 또한, 그림2(b)는 전동차가 운행시 가선전압이 정격전압보다 0.5% 변동시, 기존전압보다 낮을 경우 저장되었던 회생에너지를 전력변환 하여 DC로 공급하는 방식을 나타내고 있다.

이러한 에너지 저장 시스템에는 크게 플라이휠과 Supercapacitor 그리고 SMES방식이 있다. 하지만 이중에서 SMES(Superconducting Magnetic Energy Device)방식은 다른 에너지 저장 시스템방식과 비교하였을 때, Micro-SMES와 소용량-SMES는 이미 상용화 판매되고 있으나 전동차에 사용할 수 있는 중,대용량-SMES는 아직도 개념설계 단계이며, 에너지 용량도 적은 반면, 가격은 상대적으로 고가이기 때문에 우리의 경제성과 시스템 적용성을 고려하여 연구하는 전동차 에너지 저장장치로써 활용하는데 적합하지 않다.

그래서 본 연구논문에서는 활용가능성이 높고, 연구의 핵심인 경제적 이익과 시스템 적용성을 만족시킬 수 있는 에너지 저장방식으로 플라이휠과 Supercapacitor방식을 중점적으로하여 전동차 에너지 저장시스템개발을 위한 연구를 진행 할 예정이다..

3. 플라이휠(FlyWheel)

플라이휠 에너지 저장기술은 고온초전도체의 독특한 현상인 자기 공중부양 및 자기 고정을 이용한 베어링을 사용하여, 전기 에너지를 플라이휠의 회전 운동에너지로 저장하고, 이 에너지를 마찰에 의한 손실이 없도록 유지하였다가, 발전하여 사용하는 방법이다.

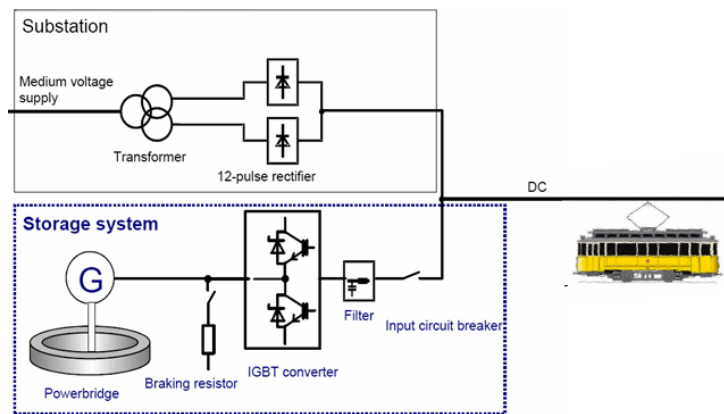


그림 3. 플라이휠 에너지 저장시스템 구성도

그림 3은 플라이휠 에너지 저장시스템의 구성도를 나타내고 있으며, 그림 4는 플라이휠

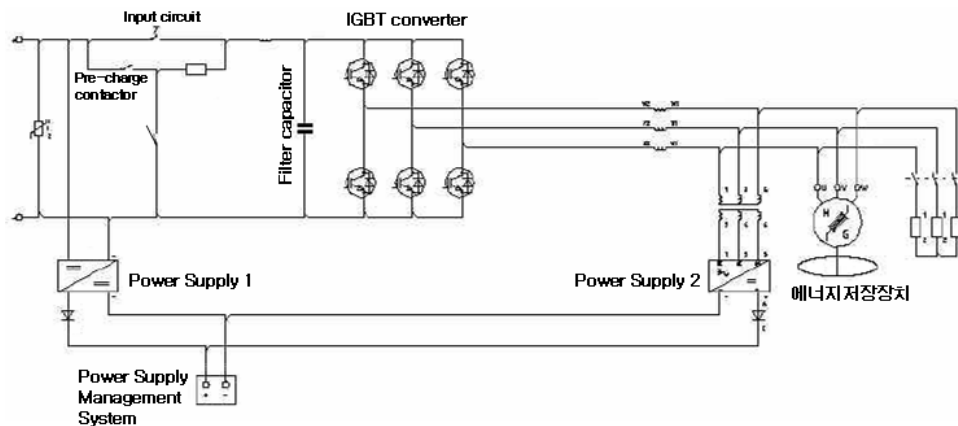


그림 4. 플라이휠 저장방식의 전력회로

저장방식의 전력회로를 나타내고 있다.

그리고 그림 5는 독일에서 시험 중에 있는 전동차용 플라이휠 저장시스템이고 그림 6은 이러한 플라이휠 저장 시스템의 시험 결과이다.

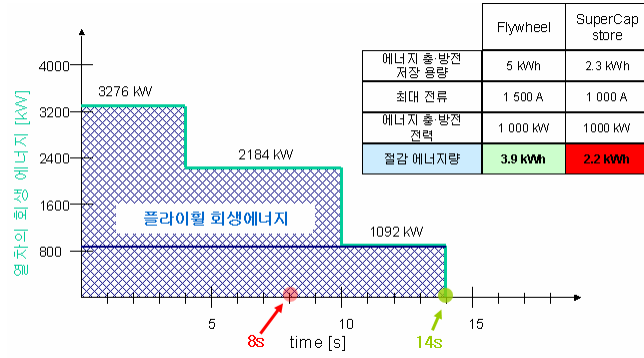
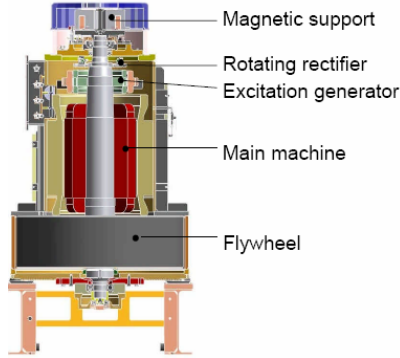


그림 5. 플라이휠 저장시스템 시험모형

그림 6. 플라이휠 저장시스템 시험결과

이 플라이휠 저장시스템의 에너지 총·방전 저장용량은 5.0kWh이고 최대 에너지 총·방전 전력은 1000kW이며 공칭전압(nominal voltage)는 600V~750V이다. 여기에서 에너지 총·방전 저장용량 5.0kWh는 18MWs와 같고, 이것은 1MW를 18초까지 저장 가능함을 의미한다. 그리고 최대 에너지 총·방전 전력이 1MW이고 플라이휠 회생에너지가 14초동안 저장이 가능한 것을 고려하면 회생되는 에너지는 14MWs 즉 3.9kWh가 된다.

또한 시험결과, 저장장치 한 대당 400MW이상의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나오고 있다.

4. 슈퍼캐패시터(Supercapacitor)

Ultracapacitors 또는 Double-Layer capacitor라 불리는 Supercapacitors는 재래식 전해콘덴서와 신형 2차 전지가 갖지 못하는 영역에서 고유한 성능 특성을 가지는 차세대 회생 에너지 저장시스템으로, 전극과 전해질 사이에 형성되는 단위셀에 전극의 양단에 수 볼트의 전압이 가해지면 전해액 내의 이온들이 전기장을 따라 이동하여 전극 표면에 흡착한 후 발생하는 전기 화학적 매커니즘에 의해 작동되는 에너지 저장 시스템이다.

그림 6은 이러한 슈퍼캐패시터를 이용한 에너지저장방식의 Block diagram을 나타내었다.

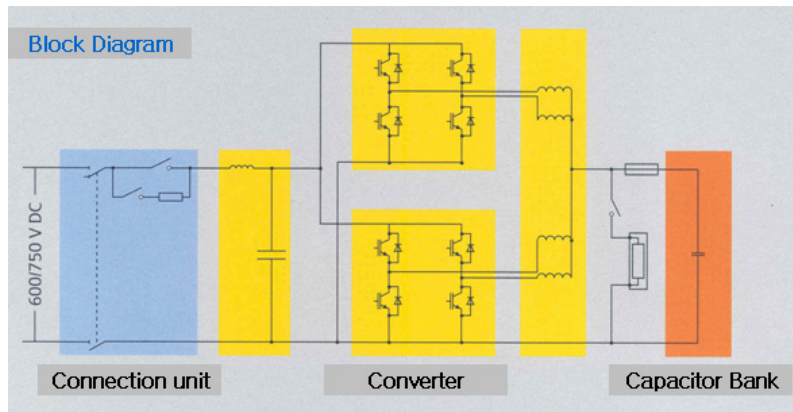


그림 6. 슈퍼캐패시터의 Block Diagram

그림 7은 독일에서 시험 전동차에 활용하고 있는 슈퍼캐패시터의 모습이다.

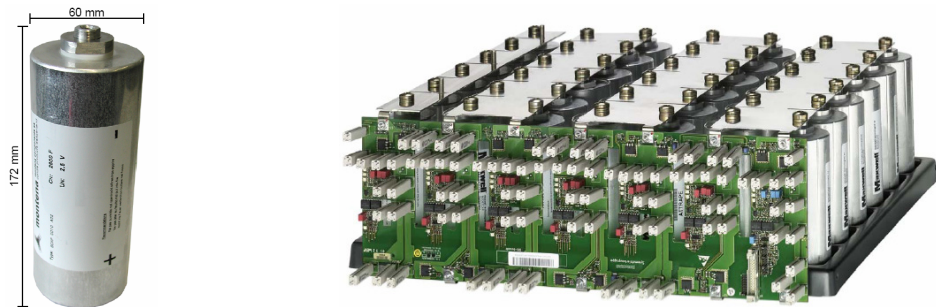


그림 7. 슈퍼캐패시터 저장장치

이 슈퍼캐패시터 저장시스템의 에너지 충·방전 저장용량은 2.3kWh이고 최대 에너지 충·방전 전력은 910kW이다. 여기에서 에너지 충·방전 저장용량 2.3kWh는 8.26MWs와 같고, 이것은 1MW를 8.26초까지 저장 가능함을 의미한다. 이때, 최대 에너지 충·방전 전력이 1MW일 경우 슈퍼캐패시터 회생에너지가 8초동안 저장이 가능한 것을 고려하면 회생되는 에너지는 8MWs 즉 2.2kWh가 된다.

5. 결론

지금까지의 결과를 정리해보면 그림 8과 같이 정리할 수 있다.

플라이휠 시스템은 $1\text{MW} \times 14\text{sec} = 3.9\text{kWh}(14\text{MWs})$ 이고, Supercapacitor 시스템은 $1\text{MW} \times 8\text{sec} = 8\text{MWs}(2.2\text{kWh})$ 이다. 이 결과만을 보면 플라이휠 시스템이 월등함을 알 수 있다.

그러나 현실성을 고려해 볼때 회생 에너지의 지속시간이 14초 이상 되는지는 추후에 현장 시험을 통해 측정해 봐야 한다. 이유는 차량의 Headway이 시간이 짧으면 회생에너지가 역행 차량에 공급될 것이므로, 실제 회생 에너지가 에너지 저장장치에 저장되는 시간이 5초 이하가 될 수도 있기 때문이다.

또한 플라이휠 방식은 중량이 크고 회전체이기 때문에, 기초를 튼튼한 것으로 할 필요가 있으며, 기기손, 풍손의 에너지 손해를 무시할 수 없다. 반면에 Supercapacitor 시스템은 출력밀도가 높고, 급속 충방전이 가능하다. 또한 플라이휠은 유지보수시 적어도 몇 일이 걸려야 하나 Supercapacitor는 30분정도면 캐패시터 모듈을 교체할 수 있는 유지보수 편의성이 있다.

여러 결과를 토대로 분석해보면 Supercapacitor가 더 효율적 이익이 있고 차량 시스템 적 합성에도 더욱 부합할 것처럼 보인다. 하지만, 도시철도 시스템에서 가장 적합한 에너지 저장시스템을 선택하기 위해서는 변전소 및 차량에서 발생된 회생 에너지를 Headway가 짧은 구간과 긴 구간으로 나누어 측정하여 종합적으로 검토해야 하는 필요성이 있는 만큼 이러한 점을 중점으로 검토하여 차세대 전동차 개발 사업에 적합한 회생에너지 저장장치를 연구개발 할 계획이다.