

경부고속철도 회생 에너지 저장시스템 성능 분석

Performance Analysis for Regenerative Energy Storage System in Kyoung-bu High Speed Railway

장민주* · 전용주** · 노영환†
(Min-Ju Jang · Yong-Joo Jeon · Young Hwan Lho)

Abstract - Recently, various researches are conducted in the application of regenerative energy produced during the operation of an electric locomotive. Regenerative energy is produced by a generator in the brake procedure. The generator is operated by kinetic energy of an electric railroad using an electric motor. The process of producing regenerative energy varies with the current type of a railroad and its running condition. The quality of electric power can be improved and electric energy can be utilized effectively, especially in the use of an energy storage system (ESS). Thus, it is necessary to apply ESS into AC section and high speed railway. This study analyses the composition of the regenerative ESS equipment installed in Yong-Jeong sectioning post, operational principle, charge and discharge algorithm and energy efficiency. The analysis shows that CO₂ emissions can be reduced about 0.5 ton per a day. In addition, ESS helps saving the energy and the compensation of the voltage drop caused by the operation of high speed train when it is installed at the end of the feeder section. The number of high speed train will be increased continuously related to the electrification rate. Therefore, applying the ESS to high speed railway is expected to solve the instability of the feeder voltage and the equipment capacity problem caused by the high speed trains.

Key Words : ESS, Energy storage system, High speed railway

1. 서 론

전기철도는 전차선으로부터 전기에너지를 차량에 전달하여 운행하는 시스템으로 국내의 경우 2004년 KTX(Korea Train eXpress) 운행 이후 급속히 증가되고 있다[1]. 특히 최고속도 100 km/h 이상 속도대역의 디젤 차량이 전기 차량으로 급속히 전환되어 전기에너지 사용량은 전체사용량의 1.5% 이상이며, 매년 증가 되고 있어 전기에너지 사용량의 증가에 따라 전기철도 운행 전력의 효율적 에너지 사용에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[2]. 이 중 전기철도 차량의 운행 에너지 효율화는 전기차량이 제동 중 발생하는 회생에너지를 저장하기 위한 다양한 연구가 보고되고 있다.[3] 특히 전기철도 차량의 운행 간격이 짧아져 에너지의 사용량 증가 이외에 공급 전력의 전압강하, 역률 저하, 고조파 등도 증가 될 수 있다[3, 4].

회생에너지 저장장치는 열차 운행 간격이 짧은 도시철도 DC

구간에서는 전기에너지를 효율적으로 사용하기 위해 열차 제동시 발생하는 회생에너지를 활용할 수 있는 직류용 에너지 저장시스템의 여러 지역 설치가 보고되고 있다[5]. 특히 전기철도의 회생 에너지를 저장할 경우 전기에너지를 효율적으로 사용하고 전력품질을 더욱 개선할 수 있어 AC 구간 및 고속철도 구간에서도 적용이 필요하다[6]. 본 논문에서는 경부고속철도 용정구분소에 설치된 회생에너지 저장장치의 운영에 따른 효율을 분석하였다. 특히 AC 구간 에너지 저장시스템의 설비 구성, 동작원리, 충방전 알고리즘을 분석하고 설치 후 경제성을 종합적으로 분석하였다. 본 논문에서 제안한 경부 고속철도 회생에너지 저장시스템의 성능과 경제성 분석은 향후 국내 고속 및 일반철도 구간의 에너지 저장장치의 설치 및 운영에 대한 효율성 검증에 활용될 것으로 기대된다.

2. 경부고속철도 회생 에너지 저장시스템 구성

고속철도 차량은 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 방식을 사용하므로 가속 시 전력을 소비하지만 감속을 위한 제동 시 전력을 생산하며 열차의 제동력, 중량, 속도, 전동기 효율 등에 비례하여 발생한다[5]. 제동중인 열차에서 발생한 회생에너지는 다시 전차선으로 전달되고 주변에 가속하고 있는 열차가 있는 경우에만 유효한 에너지원으로 사용 된다[7]. 회생 제동이 발생 되는 급전 구간에 열차가 운행하지 않거나, 회생하는 열차만 존

† Corresponding Author : Department of Railroad Electricity, Woosong University, Korea

E-mail : yhlho@wsu.ac.kr

* Department of Railroad Electricity, Woosong University, Korea

** Section Chief of Department of Electrical Technology in KORAIL(Korea Railroad Corporation)

Received : July 27, 2015; Accepted : August 11, 2015

재할 경우 전차선 전압은 급격하게 상승하게 되며 열차는 전기제동능력이 현저히 저하되거나 무효로 된다. 이때 열차는 회생제동에서 기계제동으로 전환되어 브레이크 슈에 의해 제동이 된다. 이는 유지보수 비용 증가와 승차감, 정위치 정착 능력저감, 공기청정도 저하 등을 유발하게 된다. 현재 회생에너지 처리방식은 크게 저항초과방식, 회생인버터방식, 저장방식이 있다. 먼저 저항초과방식은 회생에너지를 저항기를 통해 열로 방출 하게 되므로 회생실효 현상의 문제점은 개선되지만 에너지 효율은 낮다 [7]. 회생인버터방식은 회생에너지를 인버터를 통해 교류전력으로 전환하여 철도역의 전등, 엘리베이터, 에스컬레이터 등 역사 내부시설의 전기에너지로 사용한다. 이 방식은 회생전력의 발생시점과 소비시점이 일치하지 않는 경우와 고조파 등 전력품질의 문제점을 안고 있다. 저장방식은 회생전력을 지상 저장시스템 또는 차상 저장시스템에 전기에너지를 저장해 두었다가 가속 열차가 있을 경우 다시 전차선으로 공급하는 방식으로 가장 효율이 높은 방식이다[8].

그림 1과 그림 2에 용정구분소에 설치된 에너지 저장시스템의 구성도와 회로도를 나타내었다. 용정구분소에 설치된 교류용 에너지 저장시스템은 55,000 V의 모선전압을 980 V로 강압해주는 변압기와 AC/DC 컨버터, DC/DC 양방향 컨버터, 에너지 저장 장

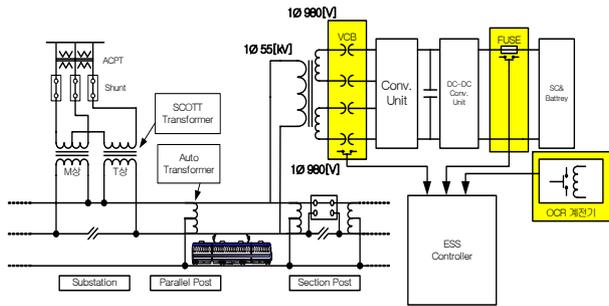


그림 1 용정구분소에 설치된 에너지 저장시스템 구성도
Fig. 1 Yongjeong electricity sectioning post energy storage system schematic

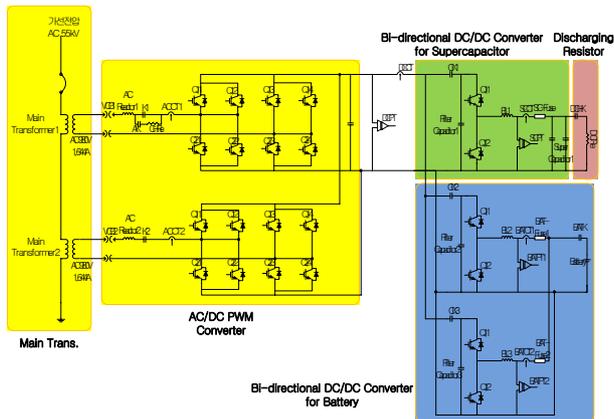


그림 2 에너지 저장시스템의 회로도
Fig. 2 Energy storage system circuit

치로 이루어져 있다. 변압기 2차 측 AC 980 V의 전원을 입력받아 AC/DC 컨버터를 통하여 DC 1,500 V를 만들고, 이를 DC/DC 양방향 컨버터 전원으로 사용한다. DC/DC 양방향 컨버터는 충전 모드에서는 Buck 컨버터로 동작하여 에너지 저장매체에 에너지를 저장하고, 방전 모드에서는 Boost 컨버터로 동작하여 저장매체에 저장된 에너지를 가선으로 공급한다. 성능 최적화를 위해 슈퍼 캐패시터는 3병렬과 배터리 2병렬로 구성하였다.

그림 3에 AC/DC 컨버터 회로도를 나타내었다. AC/DC 컨버터는 AC 980 V를 DC 1,500 V로 변환한다. 컨버터는 단상 2병렬로 4개의 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)로 구성되며 각각의 IGBT에는 역병렬 다이오드가 연결된다. V_s 는 변압기 2차 측 전원 즉, 컨버터의 입력 전원이고, L_s 와 R_s 는 입력 측 승압용 교류 인덕터와 직렬 등가 저항을 나타낸다. C_{dc} 는 DC측 평활 캐패시터이며 이는 양방향 DC/DC 컨버터의 전원으로 사용한다.

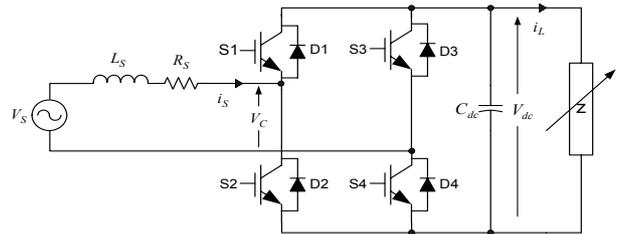


그림 3 AC/DC 컨버터 회로도
Fig. 3 AC/DC converter circuit

DC/DC 양방향 컨버터는 양방향 전류의 흐름이 가능하며 직접적으로 저장매체의 충전과 방전을 수행한다. 슈퍼 캐패시터와 배터리를 충전할 때에는 Buck 컨버터로 동작하고 슈퍼 캐패시터와 배터리에 저장된 에너지를 가선으로 공급할 때에는 Boost 컨버터로 동작한다. 그림 4에는 Buck 컨버터로 동작할 때의 전류 흐름을 나타내었고, 그림 5에는 Boost 컨버터로 동작할 때의 전류 흐름을 나타내었다.

에너지 저장시스템에 사용되는 저장 매체로는 슈퍼 캐패시터와 리튬 폴리머 배터리가 사용된다. 슈퍼 캐패시터는 순간적 응답은 빠르지만 정전 용량이 작아 역행이나 회생시간이 긴 KTX의 에너지를 보상하기에는 부족하다. 하지만 리튬 폴리머 배터리의 경우 응답 속도는 슈퍼 캐패시터에 비해 느리지만 정전 용량이 크기 때문에 슈퍼 캐패시터의 부족한 정전 용량을 보완하여

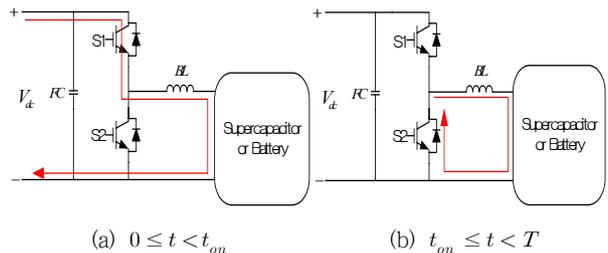


그림 4 Buck 컨버터로 동작할 때의 전류의 흐름
Fig. 4 Current flow produced by Buck converter

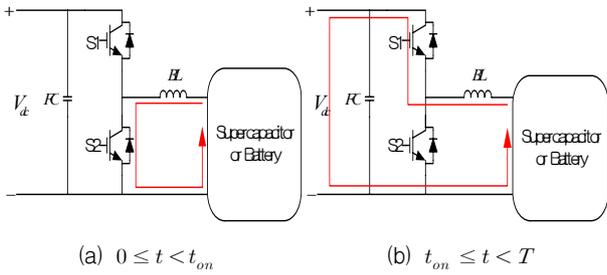


그림 5 Boost 컨버터로 동작할 때의 전류의 흐름
Fig. 5 Current flow produced by Boost converter

장시간 충방전이 가능하다. 따라서 용정구분소의 에너지 저장 시스템은 슈퍼 캐패시터와 리튬 폴리머 배터리를 병렬 연결하여 하이브리드 에너지 저장시스템으로 되어있다. 두 가지의 저장 매체를 병렬 운용 하면서 순간적인 전력 보상 뿐 아니라, Peak 전력을 감소시키거나 Shift시키는 효과를 본다.

슈퍼 캐패시터 모듈은 2.7 V/3,000 F의 단위 셀이 직렬로 18개가 접속되어 총 전압 및 용량은 48.6 V/166 F로 구성되어 있다. 이러한 모듈을 직병렬로 결선하여 총 최대전압은 1,100 V, 최대전류는 2,000 A, 캐패시턴스는 68.75 F이며, 용량은 29.7 MJ가 된다. 슈퍼 캐패시터의 출력단에는 유사시나 시스템 정비시에 슈퍼 캐패시터에 저장된 에너지를 소비할 수 있도록 방전저항이 연결되어 있다. 방전저항의 저항값은 10 옴이고 최대전류는 100 A이다. 방전저항과 슈퍼 캐패시터는 컨택터로 분리되어 있으며 이를 조작하면 슈퍼 캐패시터에 저장된 에너지가 소모된다. 리튬 폴리머 배터리는 3.7 V/200 Ah의 단위셀이 264개 직렬로 연결되어 있다. 총 공칭전압은 976.8 V, 최대전압은 1,095.6 V, 최소전압은 818.4 V, 최대전류는 충전시 200 A 방전시 600 A이며, 용량은 200 kWh이다.

에너지 저장시스템은 열차 운행과 가선 전압의 상태에 따라서 충전과 방전을 반복한다. 초기 기동시에 슈퍼 캐패시터 운용을 위한 초기 충전모드가 있고, 배터리의 상태를 파악하여 저전류로 충전하는 내부 충전모드가 존재한다. 고속철도의 경우 가선전압이 AC이고 회생시에 가선전압의 상승이 없기 때문에 충방전을 위한 열차 운행 모드가 가선전압만으로는 파악하기 어렵다. 따라서 가선전압과 더불어 가선전류를 검출하여 가선 전압과 전류의 위상차를 가지고 열차가 역행하는지 회생하는지를 판단한다. 열차가 역행 시에는 전력소비가 일어나기 때문에 가선전압과 전류의 위상은 1.4 사분면에서 움직인다. 반대로 열차가 회생 시에는 가선전류의 위상이 2, 3 사분면에서 발생한다. 이러한 열차의 운행모드에 따른 가선 전압과 전류의 위상을 이용하여 충전과 방전 모드를 결정한다. 그림 6에 열차 운행에 따른 가선전압과 전류의 관계를 나타내었다.

충전모드는 시스템을 처음 가동할 때 슈퍼 캐패시터의 현재 정보를 가지고 판단한다. 시스템의 초기 기동시에 슈퍼 캐패시터의 전압이 700 V 이하이면 초기 충전모드로 들어간다. 초기 충전모드가 되면 AC/DC 컨버터가 먼저 동작하여 DC Link 전압을 1500 V로 유지시켜 주고, DC/DC 양방향 컨버터가 동작한다. 이

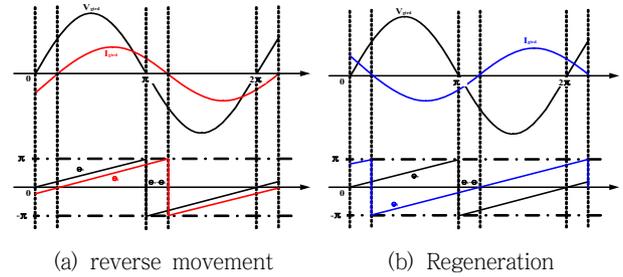


그림 6 열차 역행 회생시 가선 전압과 전류
Fig. 6 Trolley voltage and current of regeneration in reverse movement

때 소프트 스타트를 하여 초기 전류의 상승을 억제하고, 1.2 초 후에는 100 A 정전류 제어로 슈퍼 캐패시터를 충전한다. 충전중에 슈퍼 캐패시터의 전압이 700 V 이상이 되면 초기 충전모드를 종료하고 충방전 모드로 전환하게 된다. 역률개선 알고리즘을 수행하여 가선에서 발생하는 무효전력을 보상하여 역률을 개선하고 동시에 유효전력도 보상하는 방법을 사용한다. 그림 7은 열차가 역행할 때와 회생할 때의 전력분포와 역률과의 관계를 나타낸 것이다.

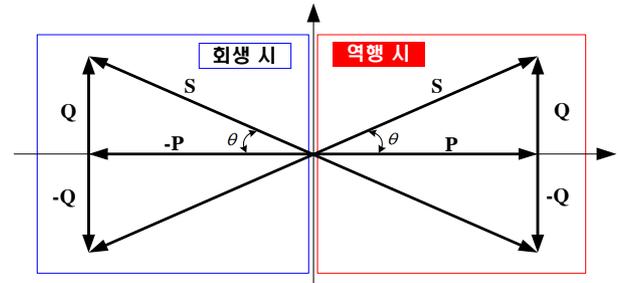


그림 7 역행 및 회생 시 전력분포와 역률
Fig. 7 Electricity distribution and power factor of regeneration in reverse movement

역행 시 가선전압과 전류는 선로 임피던스로 인해 위상차가 발생하고, 이러한 위상차로 인해 무효전력 성분을 야기시킨다. 발생된 무효 전력 성분은 역률을 저해하는 요인으로 작용하게 된다. 가선의 환경(역행/회생)과 에너지 저장 시스템의 환경(충전/방전)에 따라 4가지 모드로 나눌 수 있다. 열차가 역행과 회생시에 에너지 저장 시스템이 충방전을 수행하면서 무효전력 성분이 보상되는 것을 알 수 있다. 역률보상 알고리즘에서 슈퍼 캐패시터는 완전 충전과 완전 방전을 반복한다. 초기 기동시에 초기 충전이 완료 된 후, 열차가 역행과 회생이 있을 시에 충전을 수행한다. 충전모드는 슈퍼 캐패시터가 완전 충전 될 때까지 Mode1과 Mode3의 동작을 수행한다. 슈퍼 캐패시터가 완전 충전이 된 후에는 Mode2와 Mode4의 동작을 완전 방전될 때까지 수행한다. 그림 8과 그림 9에 역행 시와 회생 시 에너지 저장시스템의 충전, 방전관계를 도식화 하였다.

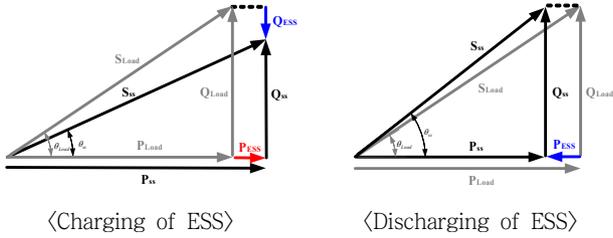


그림 8 역행 시 에너지 저장시스템 동작 ($|\theta| \leq \frac{\pi}{2}$)

Fig. 8 ESS of reverse movement ($|\theta| \leq \frac{\pi}{2}$)

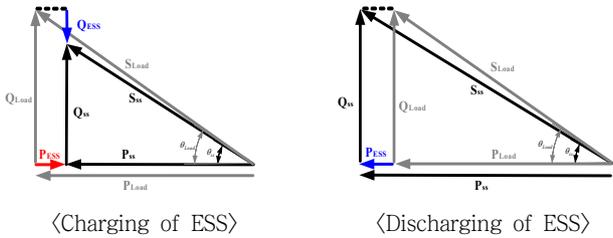


그림 9 회생 시 에너지 저장시스템 동작 ($|\theta| > \frac{\pi}{2}$)

Fig. 9 ESS of regeneration ($|\theta| > \frac{\pi}{2}$)

충전모드는 열차가 회생 했을 때 발생하는 회생에너지를 충전하는 경우와 무부하시 충전하는 경우가 있다. 회생하면 가선전류가 흐르고 이때 흐르는 가선전류와 가선전압의 위상차를 이용하여 열차가 회생하고 있음을 파악할 수 있다. 가선전압 안정화를 위해 가선전압이 900 V(1차측 25,254 V) 이상인 경우에만 충전모드가 된다. 용정구분소의 경우 회생량 보다 방전량이 훨씬 많기 때문에 최대 수요전력 저감과 가선전압 안정화를 위해 무부하시 저장매체를 충전시켜 방전모드일 때 더 많은 양의 에너지를 공급해 준다.

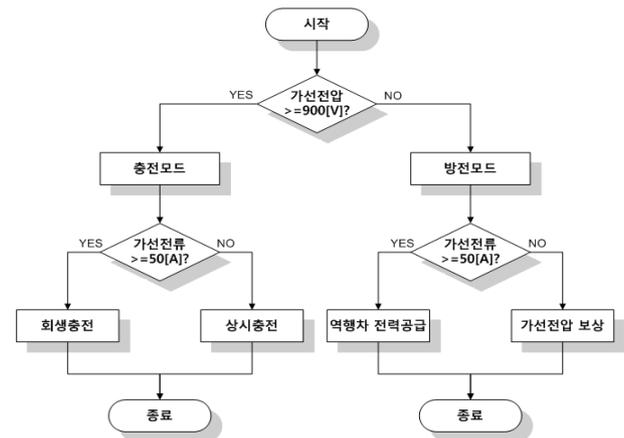


그림 10 충/방전 모드 시퀀스 순서도

Fig. 10 Charging / Discharging mode sequence diagram

방전모드는 열차가 역행할 때 가선에 저장된 에너지를 공급하는 모드와 가선전압이 900 V(1차측 25,254 V) 미만으로 떨어질 때 이를 보상하기 위해 방전하는 모드가 있다. 가선전압이 900 V 미만으로 떨어지면 방전을 수행하고, 열차가 역행하여 전력을 소비할 때 또한 전력을 공급하여 소비전력을 저감시키는 효과를 가진다.

열차의 역행은 가선전압과 전류의 위상차를 이용하여 판단하고 가선전류의 RMS 값이 50 A 이상일 때 전력소비가 있다고 판단하여 저장매체에 저장된 에너지를 공급한다. 그림 10에 충전과 방전모드에 대한 시퀀스 순서도를 나타내었다.

3. 에너지 저장시스템 시험

교류식은 직류식과 달리 전압 전류의 위상 변화에 따라 에너지 흐름이 변화한다. 따라서 역행시와 회생시의 위상 변화를 관찰하고 저장모드 설정에 반영해야 한다. 그림 11에는 열차 역행시(전력 소비 시) 가선전압과 가선전류의 파형을 나타내었다. 가선전압은 변압기 2차측 전압으로 측정하고, 가선전류는 CT(Current Transformer)를 사용하여 측정한다. 열차가 역행하여 전력을 소비하면 인덕턴스 부하에 의해 전류 위상이 전압보다 뒤지는 것을 알 수 있다. 반면 열차가 제동하면 회생에너지가 발생하고 이때의 가선전압과 전류의 위상은 대략 180° 차이를 두고 발생한다. 그림 12에는 열차 회생 시 가선전압과 가선전류의 파형을 나타내었다.

에너지 저장시스템은 열차의 역행과 회생을 위와 같이 가선전압과 전류의 위상차를 이용하여 판단한다. 저장 매체로 활용중인 슈퍼 캐패시터는 초기 전압이 0 V에 가깝기 때문에 원활한 운영을 위해서는 초기에 슈퍼 캐패시터를 충전시켜 일정 전압을 확보해야 한다. 그림 13은 슈퍼 캐패시터 초기 충전 시의 전압과 전류를 나타낸 파형이다. 초기 충전은 100 A 정전류 제어로 이루어지며 초기 충전시간은 약 118 초이다. 본 시스템에서는 초기 충전 모드에서 700 V까지 충전 후에 초기 충전모드를 끝내고 충전 전 모드로 전환된다.

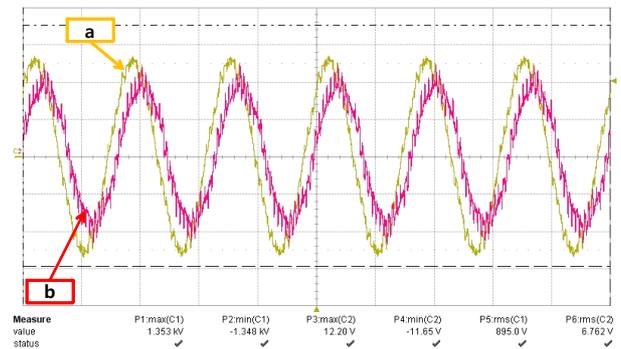


그림 11 열차 역행 시 가선 전압과 전류 파형 (a : 가선전압, b : 가선전류)

Fig. 11 Trolley voltage and current wave of reverse movement (a : trolley voltage, b : trolley current)

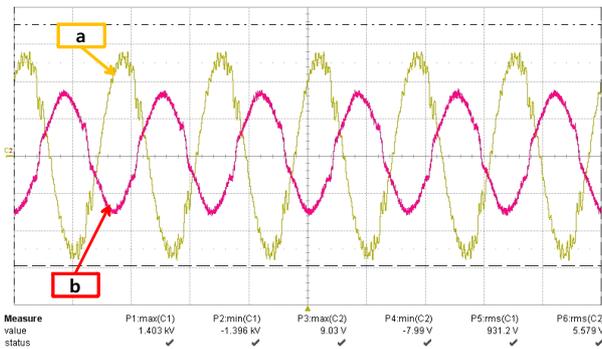


그림 12 열차 회생 시 가선 전압과 전류 파형
(a : 가선전압, b : 가선전류)

Fig. 12 Trolley voltage and current wave of regeneration
(a : trolley voltage, b : trolley current)

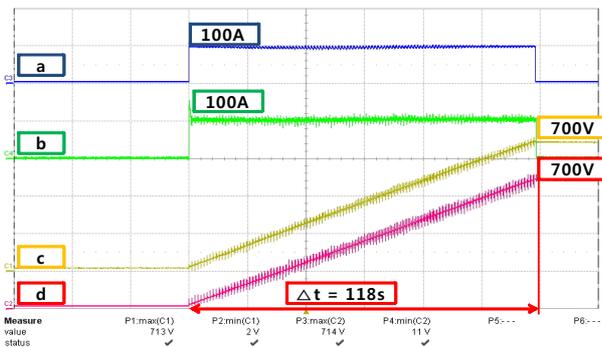


그림 13 초기 충전 시 슈퍼 캐패시터 전압과 전류(1, 2군)
(a : 슈퍼 캐패시터 1군 전류, b : 슈퍼 캐패시터 2군 전류, c : 슈퍼 캐패시터 1군 전압, d : 슈퍼 캐패시터 2군 전압)

Fig. 13 Super capacitor voltage and current of initial charging(First group, Second Group)
(a : super capacitor first group current, b : super capacitor second group current, c : super capacitor first group voltage, b : super capacitor second group voltage)

슈퍼 캐패시터는 초기 충전을 제외하고는 550 V에서 1000 V의 전압에서 동작한다. 이는 방전모드에서 슈퍼 캐패시터의 전압을 상승하여 가선으로 전달하는데 안정적인 운용을 위해 최저 전압을 550 V로 제한하기 때문이다.

그림 14는 충/방전 모드 수행 시 슈퍼 캐패시터의 전압과 전류 그리고 배터리의 전류를 나타낸 파형이다. 슈퍼 캐패시터는 100 A로 충방전을 수행하고 배터리는 DC/DC 컨버터 1군당 100 A 총 200 A로 충방전을 수행한다. 상시 충전은 50 A로 충전을 수행한다. d지점에서 슈퍼 캐패시터는 완전 충전되어 충전을 멈추지만 배터리는 더 많은 양의 에너지를 저장할 수 있기 때문에 충전이 계속 된다. 방전 시에도 역시 배터리가 더 많은 시간을 방전할 수 있다.

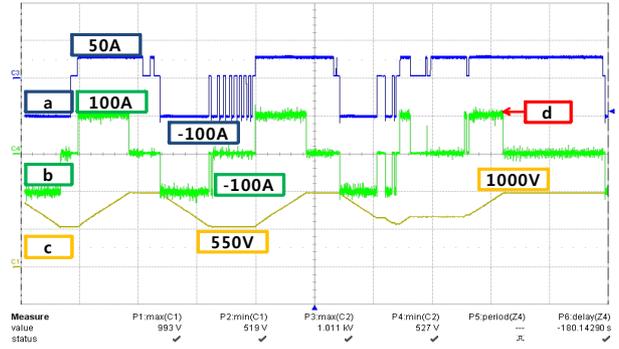


그림 14 충/방전 모드시 슈퍼 캐패시터 전압과 전류, 배터리 전류
(a : 배터리 전류, b : 슈퍼 캐패시터 전류, c : 슈퍼 캐패시터 전압)

Fig. 14 Super capacitor voltage, current and battery current of charge and discharge mode
(a : battery current, b : super capacitor current, c : super capacitor voltage)

4. 설치 효과 분석

그림 15는 일주일 간격을 두고 에너지 저장 시스템을 가동할 때와 가동하지 않을 때의 데이터를 비교하여 그래프로 표시한 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 가동할 때에 소비전력과 무효전력이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 에너지 저장시스템에서 공급하는 전력량은 하루 평균 약 1,200 kWh 정도 된다.

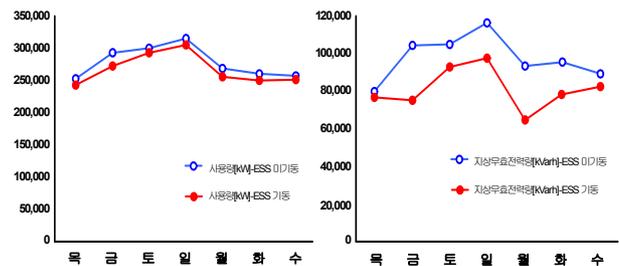


그림 15 시스템 가동에 따른 유효, 무효전력

Fig. 15 Active power and reactive power by system operation

전철변전소는 열차의 이동에 따라 가선전압이 수시로 변동하게 된다. 무부하시 전압은 945 V(1차측 26,500 V) 정도이지만 최대 965 V(1차측 27,000 V)에서 850 V(1차측 24,000 V)까지 변동한다. 가선 전압이 19.5 kV 이하로 내려가면 열차 운행에 지장이 된다. 에너지 저장시스템은 가선전압을 실시간 감지하여 가선전압이 일정전압 이하가 되면 저장된 에너지를 순간 방전하여 가선전압 저하를 방지한다. 그림 16은 에너지 저장시스템 가동에 따른 가선전압 변동을 확인하기 위해 일정시간대 상호 비교하여 가선전압을 측정하여 나타낸 것이다. 시스템을 가동하면 가선전압

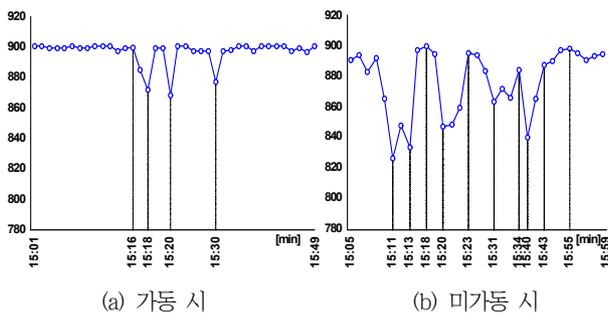


그림 16 시스템 가동에 따른 가선전압 변동
Fig. 16 Trolley voltage fluctuation by system operation

의 강압 횟수와 강압 폭은 미가동 시에 비해 적게 되어 가선전압 안정화에 효과가 있음을 확인할 수 있다

에너지 저장시스템을 이용하여 소비전력을 저감하면 CO₂ 저감 효과도 같이 가져온다. 현재 우리나라의 전력부문 탄소배출계수는 0.424 tCO₂/MWh이다. 그림 17에 에너지 저장시스템 가동 여부에 따른 CO₂ 발생량을 그래프로 나타내었다. 에너지 저장시스템을 가동하면 가동하지 않을 때보다 CO₂ 발생량이 적은 것을 확인할 수 있다. 하루 평균 약 0.5 t이 저감된다.

교류용 에너지 저장시스템은 전력소비가 적은 시간과 무부하

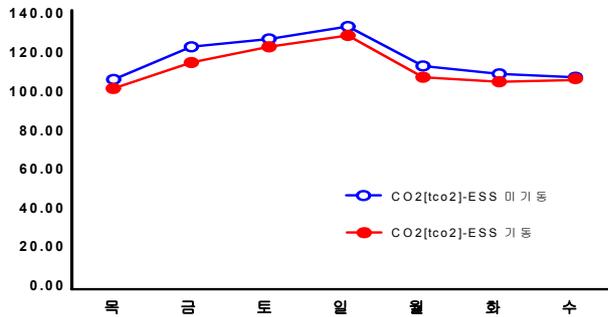


그림 17 시스템 가동에 따른 CO2 환산량
Fig. 17 Amount of CO2 by system operation

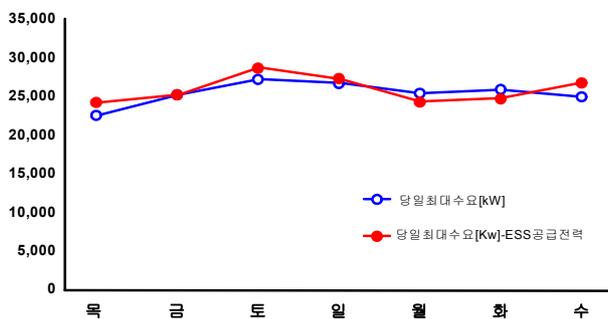


그림 18 시스템 가동에 따른 최대 수요전력 변화
Fig. 18 Maximum demand power fluctuation by system operation

시에 슈퍼 캐패시터와 배터리에 에너지를 저장하였다가 전력소비가 많은 시간대에 가선으로 공급하므로 최대 수요전력 저감 효과는 있다. 그러나 현재 용정구분소에 설치된 시스템의 용량으로는 전력소비가 많은 KTX의 최대 수요전력을 저감시키는 효과는 부족한 실정이다.

운영 패턴과 부하에 따라서 최대 수요전력은 변화하기 때문에 에너지 저장시스템의 가동에 따른 효과를 검증하기에는 어려움이 따른다. 그림 18에는 시스템 가동 시와 미가동 시의 월별 최대전력 변화량을 비교해 보았다.

5. 결 론

전기철도에서 차량 제동 중 발생하는 회생에너지 저장시스템은 전기에너지를 효율적으로 사용하고 전력품질 향상을 위해 DC 철도 및 AC 철도에 적용되고 있다. DC 전기철도에서의 회생에너지 저장시스템은 열차운행의 한 부분으로 도시철도에서 그 효율성이 인정되어 지속적으로 설치 운영하는 추세이다. 반면 교류전원을 사용하는 고속철도의 경우 역행, 회생 에너지가 일반적인 직류 전원을 사용하는 도시철도와 차이가 있어, 고속철도 구간에 적합한 시스템의 설계와 알고리즘의 선택이 필요하다. 본 논문에서는 경부고속철도 용정구분소에 설치된 회생에너지 저장장치의 설비 구성, 동작원리, 충방전 알고리즘과 에너지 효율을 분석하였다. 에너지 저장시스템은 슈퍼 캐패시터와 축전지를 병용하는 하이브리드 타입으로 설치하였으며, 알고리즘은 위상제어를 기반으로 에너지를 충방전하는 로직으로 설계하였다. 에너지 저장시스템의 설치효과는 일일 평균 약 1,200 kWh의 에너지가 절감되는 등 경제적 효과는 연간 약 6천 3백만원이 되었다. 에너지 저장시스템을 설치 운영하면 에너지 절감 효과뿐만 아니라 급전구간 말단 전차선로에 설치하여 대용량 고속열차 운행시 발생하는 전압변동을 억제 또는 전압강하보상 효과가 있다. 또한 CO₂ 발생량은 하루 평균 약 0.5 t이 저감된다. 고속철도는 앞으로 고속열차의 지속적인 확대 편성이 예상되므로 설비용량 한계와 급전전압 불안정 등의 문제를 고려한다면 에너지 저장시스템의 경제적 효과는 분명한 것으로 기대된다.

References

- [1] Cheon Heon An, Han Min Lee, Gil Dong Kim, Hi Sung Lee, "A Study on Effect of Applying Energy Storage System on SeoulMetro Line 2", Annual Spring Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.2009 No.4, pp.966-971, 2009.
- [2] Hosung Jeong, "Technology trend of optimize energy utilization in the electric railway", Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.2011 No.5, 2011.
- [3] Donghun Jeong, "A study on introduction of Energy Storage System for the effective use of Electric

Railway Vehicle Regenerative Energy”, Department of Electrical Engineering Graduate School of Engineering University of Incheon, 2011.

- [4] Hong-ki, Whang, “The study on the application method of Regenerative Energy for the electric railway vehicle”, Graduate School of Engineering Hanyang University, 2012.
- [5] Jung. Hyun-ki, Guen. Nam-Hng, Kim. Byung-Hyun, Ha. Tae-Yo, Lee. Jung-Ku, “A Study on measurement and analysis of regenerated energy according to operating electric train in urban railway”, Annual Fall Conference of the korean society for railway, 2012.
- [6] Min Ju, Jang, “A Study on the Efficiency of Energy Storage System for AC 25[kV] Railway System”, Graduate school of Railroad Transportation Woosong University, 2012.
- [7] Jun-Sang Lee, Jong-Hun Park, Jin-Young Kim, Gi-Chun Kim, “Electric railway vehicles using regenerative power and improvement”, Journal of the korean society for railway, Vol.2011 No.5, pp.368-376, 2011.
- [8] Gildong Kim, Hanmin Lee, Sechan Oh, Changmu Lee, “A Study on technical application of recycle energy storage system for electric rail car”, Annual Spring Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.. 2006 No. 4, pp. 307-309, 2006.
- [9] Hyun KIM, Younshik CHUNG, “Application of Regenerative Energy in the Transport Sector”, The Korea Transport Institute, pp. 1-80, 2011.
- [10] Hanmin Lee, Gildong Kim, Changmu Lee, “Application of Electric Double Layer Capacitor on Urban Transit System”, Annual Summer Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2006 No. 6, pp. 965-966, 2006.
- [11] Sang-Woong Kim, Shin-Gug Kim, Hong-Kwan Han, Jea-Gi Kim, “Cases of applying battery to rolling stock”, Journal of the korean society for railway, Vol.2011 No.5, pp.413-422, 2006.

저 자 소 개



장 민 주 (Min-Ju Jang)

1985년 전북대학교 전기공학과 졸업(학사), 2012년 우송대학교 대학원 철도시스템학과 졸업(석사), 2015년 우송대학교 대학원 철도시스템학과(박사과정), 현재 한국철도공사 전기처장.



전 용 주 (Yong-Joo Jeon)

1995년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업(학사). 2001년 송실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 송실대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 한국철도공사 전기기술단 과장.



노 영 환 (Young Hwan Lho)

1982년 경북대학교 전자공학과 졸업, 1988년 University of New Mexico 전기공학 석사, 1993년 Texas A&M University 전기공학 박사, 현재 우송대학교 철도전기시스템학과 교수. <주관심분야 : 회로설계, 적응제어, 신호처리 등>