

# ESS 연계형 회생에너지시스템

박 가 우 / 지필로스

## 1. 서 론

화석에너지 자원의 고갈 및 온실가스로 인한 기후변화의 심각성이 날로 심화되고 있는 가운데 그 대체자원이라 할 수 있는 원자력에너지마저 수년전 일본 후쿠시마 원전사태를 비롯한 몇몇 대형사고의 여파로 인하여 점점 부정적으로 변해가고 있다. 따라서 선진국들은 온실가스 감축과 친환경 저탄소형 산업구조로의 재편을 목적으로 태양광에너지와 풍력발전 등의 신재생에너지를 이용한 대체자원의 개발과 에너지를 효율적으로 운용하기 위한 여러 가지 노력들을 앞 다퉈 경주하고 있다.

발전량이나 발전시간을 필요에 따라 마음대로 조절할 수 있는 기존의 화력발전이나 원자력 발전과는 달리 신재생에너지는 밤과 낮의 시간대나 날씨 및 기후변화, 지형 등의 영향에 따라 발전량이 크게 좌우되므로 이를 효과적으로 활용하기 위해서는 별도의 에너지저장장치가 필요하다.

선진국들과 마찬가지로 국내에서도 에너지절약 및 에너지의 효율적인 운용을 위한 방안으로 스마트그리드 사업을 시행하고 있으며, 그 일환으로 철도교통을 중심으로 한 녹색교통 정책이 정부 주도로 시행되고 있다. 그러나 철도교통의 대부분을 차지하고 있는 도시철도의 경우 철도역사의 대부분이 지하에 위치하고 있는 특수성으로 인

해 태양광이나 풍력과 같은 신재생에너지의 활용이 불가능한 관계로 일찍부터 에너지소비 절감에 초점을 맞추어 여러 가지 연구가 진행되고 있으며, 그 중 대표적으로 연구되고 있는 방법이 전동열차의 정차 시 전동열차의 전동기로부터 발생하는 회생에너지를 활용하는 방안에 대한 연구이다.

회생에너지는 출발과 정차를 반복하는 전동차에서 정차 시 전동기에 공급하는 전원을 차단할 경우 전동기가 관성에 의해 한동안 회전을 지속하면서 발생하는 전력을 말하는 것으로, 전동차가 정차할 때는 전차선의 전압이 일시적으로 상승하게 되고, 이로 인해 장애발생 및 전동차 수명단축 등의 문제점들이 발생되게 되므로 그동안에는 이러한 회생에너지를 전동차에 내장된 저항기를 이용해 열로 태워 소멸시킴으로써 전차선 전압상승을 억제시켜 왔다.

## 2. 회생에너지 발생원리

회생에너지는 상기 [그림 1]에서와 같이 전동차를 정차 시키는 과정에서 전동기에 공급되던 전원을 차단함과 동시에 전동차의 Brake를 작동시킴으로써 차량을 멈추게 되는데 이때 전동차의 전동기는 관성구동력에 의해 일정 시간(약 20초 이내) 동안 회전을 지속하게 되고 이때 전동

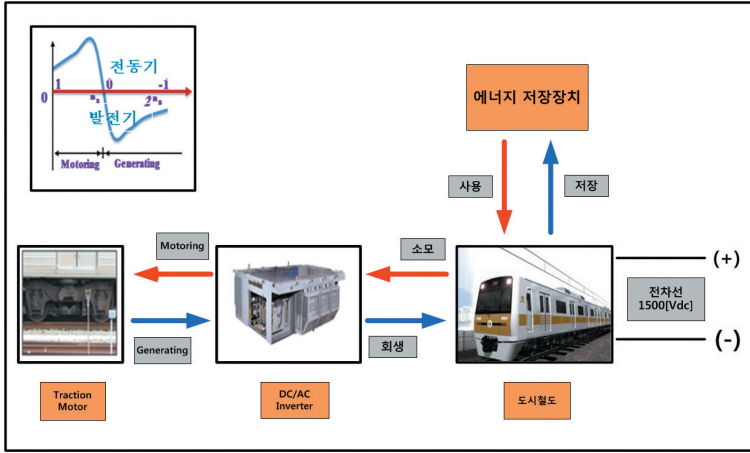


그림 1 회생에너지 발생원리

기는 발전기가 되어 최대 약 500kW 정도의 전력을 발생 시킨다. 이러한 과정에서 발생하는 회생전력량은 전동차가 출발할 때 소비되는 전력량의 약 30% ~ 최대 약 50% 정도에 이른다.

### 3. 회생에너지의 활용

#### 가. 계통연계 회생방식

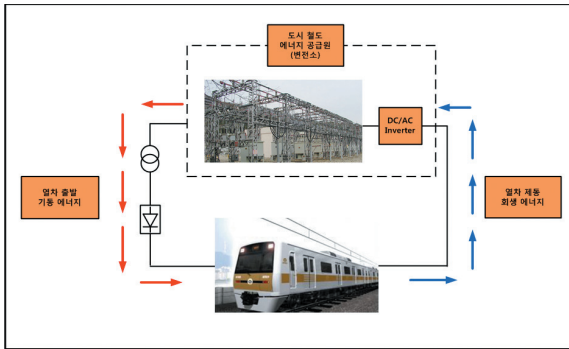


그림 2 계통연계 회생방식

회생에너지의 활용방안을 연구하던 초창기에 시도된 방법으로 전동차로부터 발생한 회생전력을 인버터를 이용하여 직류를 교류전력으로 실시간 변환하여 계통에 주입하는 방식이다. 전차선의 순간적인 전압상승을 억제할 수 있을 뿐 아니라 전동차 구동에 소비되는 전력의 일정량을 회생시킴으로써 전체 소비전력을 절감시키는 효과가 있으나 전력변환 및 변전소로의 송전과정에서 손실이

존재하며 실시간으로 계통에 주입하는 방식이므로 회생전력의 효율적인 이용측면에서는 효과가 크지 않다.

#### 나. 에너지저장장치 저장 및 전차선 직접주입 방식

상기 그림 3에서와 같이 회생되는 전력을 별도의 에너지저장장치에 저장한 후 이를 다시 전차선에 공급하는 방식이다. 현재 서울지하철 7호선 연장구간에 시범적으로 설치, 운영하고 있으며, 실증결과 월간 약 51,500kWh 정도의 절약효과가 있는 것으로 나타

났다. 서울메트로와 서울시도시철도공사는 이러한 실증 사례를 바탕으로 점차 확대 설치할 계획으로 있다. 이러한 방식은 전차선의 일시적인 전압상승을 효과적으로 억제할 수 있을 뿐 아니라 회생전력을 별도의 저장장치에 저장한 후 필요한 시점에 이를 전차선에 직접 공급함으로써 변전소로의 전송손실을 줄일 수 있을 수 있을 뿐 아니라 에너지의 효율적인 활용 측면에서도 효과적인 방안으로 평가되고 있다. 다만 에너지저장장치에 주로 사용되는 저장매체(리튬전지 등)의 경우 짧은 시간동안 발생하는 수백 kW의 대용량 전력을 순간적으로 충전하기 위한 저장매체로는 적합하지 않을 뿐 아니라 충·방전 횟수 또한 제한적이므로 장기적으로 유지보수 비용이 상승할 우려가 지적되고 있다. 따라서 최근에는 이러한 문제점의 대안으로써 순간적으로 발생하는 대용량 전력을 효과적으로 충전할 수 있을 뿐 아니라 충·방전 횟수에도 거의 제한이 없는 Super Capacitor를 저장매체로 사용하는 방안 등이 활발히 연구되고 있다.

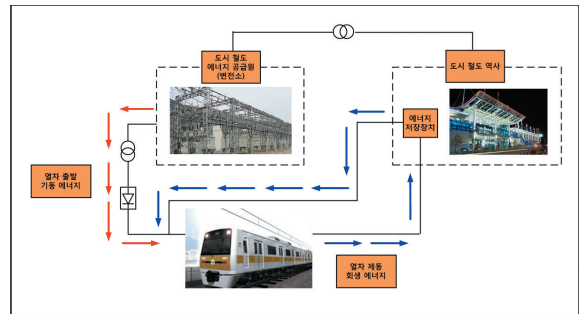


그림 3 회생전력 저장 후 전차선 직접주입 방식

다. 전동차 자체회수 및 재투입 방식(On-Board 방식)

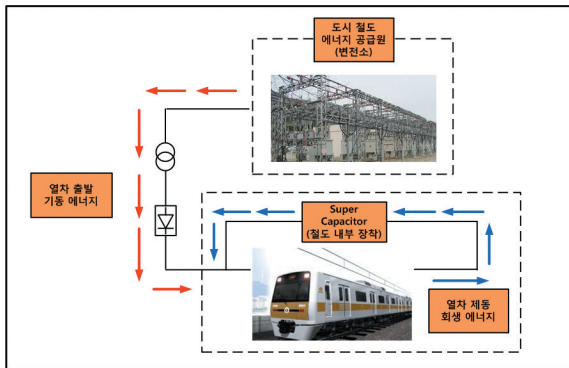


그림 4 On-Board 방식

회생에너지를 회수하기 위한 장치와 저장매체 등 모든 시스템을 차량내에 직접 탑재하여 운영하는 방식이다. 짧은 시간동안 발생하는 대용량의 회생전력을 순간적으로 저장할 수 있도록 Super Capacitor를 저장매체로 사용하며 회생전력을 차량 내부에서 직접 회수하여 저장한 후 전동차가 출발할 때 이를 다시 전차선에 주입하는 방식으로 전력전송 손실을 최소화 할 수 있을 뿐 아니라 회생되는 전력을 차량 내부에서 직접 회수함으로써 회생전력으로 인한 전차선의 전압상승 원인을 원천적으로 차단하는 효과를 기대할 수 있다. 다만 전력회수에 필요한 시스템과 고가의 저장매체(Super Capacitor)를 모든 차량에 탑재할 경우 시스템 설치비용이 과다하게 소요될 뿐 아니라 전력이용의 효율적인 운용 측면에서는 효과적이지 못하다는 문제점들이 지적되고 있다.

라. 에너지저장장치 연동방식

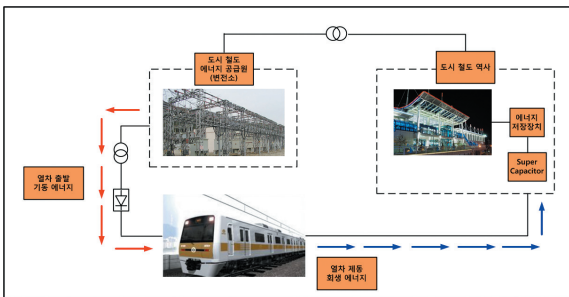


그림 5 에너지저장장치 연동방식

상기의 모든 방식들의 문제점을 고려한 가장 최근에 연구되고 있는 방식이다. 10초 ~ 20초 정도의 짧은 시간동

안 발생하는 대용량의 회생전력을 Super Capacitor를 이용하여 순간적으로 충전한 후 이를 저 용량의 전력으로 변환하여 3분 ~ 5분 정도에 걸쳐 별도의 에너지저장장치에 저장하고 저장된 에너지는 전차선이나 철도역사의 전력소비 상황에 따라 필요한 시간에 적절히 공급함으로써 전력이용 효율을 높이는 방식이다. 이와 같은 방식은 회생전력의 순간충전을 위한 고가의 Super Capacitor 용량을 최소화 하는 대신에 Super Capacitor와 대비할 때 상대적으로 저가인 에너지저장장치의 용량을 크게 함으로써 전력의 이용효율을 높일 수 있는 방안으로 평가되고 있다. 이와 같은 시스템을 철도역사 4개소 ~ 5개소 당 1개소 정도로 적절히 분배하여 설치함으로써 회생전력의 효과적인 회수와 회수된 전력의 효율적인 활용 및 이를 위한 시스템 설치비용 절감 등의 효과를 기대할 수 있을 뿐 아니라 별도의 신재생에너지와 연계하여 시스템을 구축할 수 있는 장점이 있다.

#### 4. 결 론

지금까지 언급된 바와 같이 전동차의 제동 시 발생하는 회생에너지를 효과적으로 회수하고 이를 효율적으로 활용하기 위한 많은 방안들이 연구되고 있으며, 실증을 통해 그 실효성들이 속속 검증되고 있다. 이러한 시도와 노력들은 에너지소비 절감과 대체에너지의 발굴 및 실용화, 그리고 전력계통의 효율적인 운용측면에서 끊임없이 연구되고 지속적으로 발전시켜 나아가야 할 과제들이다. 그러나 이러한 과제들이 아직은 실용화를 위한 검증단계인 관계로 영리추구를 목적으로 하는 민간 기업들이 자발적으로 참여하기에는 위험부담 또한 무시할 수 없는 실정이다. 정부차원의 확고한 의지와 지속적인 지원이 반드시 뒷받침 되어야 한다. 뿐만 아니라 철도분야에서 발생하는 회생에너지의 경우 신재생에너지의 범주에 속하지 않는 관계로 운영기관에서는 회생에너지 사용에 대해 매우 소극적인 실정이며, 회생에너지를 활용하기 위해 시도되고 있는 여러 가지 방안들에 대한 기술적, 법률적 기준이나 제도가 아직은 미비한 상황으로 선진국 수준의 기술기준 마련이나 법률적 제도 보안이 시급한 실정이다.



## 참고문헌

1. 한국철도기술연구원, “철도 그린인프라 구축을 위한 Smart 철도시스템 통합 플랫폼 개발 최종보고서”, 한국철도기술연구원, 2011.
2. 서울시도시철도공사 보도자료, “서울시, 7호선 연장구간 에너지저장/재이용 장치 설치...회생전력 재사용”, 미디어다음 외, 2013. 4. 16.
3. 도시철도표준화사업 최종연구보고서(2006), “도시철도 전력시스템 표준화 연구”, 국토해양부
4. “에너지저장시스템 기술개발”, 한국철도기술연구원, 2011.10
5. “에너지저장기술시스템 역사 적용을 위한 적용성 연구”, 한국철도기술연구원, 2006.3
6. “전력저장기술의 최근의 동향”, 철도와 전기기술 VOL.16 No.2, 2005.2
7. 초고용량 커패시터 산업기술 Workshop, 2008.09, 한국전기화학회
8. 김주락, 장동욱, 한문섭, 창상훈, “도시철도 잉여 회생에너지 재활용을 위한 회생용 인버터의 현장 적용 시험 및 고찰”, CICS 정보 및 제어 학술대회 논문집, 2009.10