

# 도시철도시스템을 위한 전기이중층 캐패시터 적용에 관한 연구

이한민\*, 김길동\*, 이장무\*

한국철도기술연구원 (hanmin@krri.re.kr)

## Application of Electric Double Layer Capacitor on Urban Transit System

Hanmin Lee\*, Gildong Kim\*, Changmu Lee\*

Korea Railroad Research Institute

hanmin@krri.re.kr

### 1. 서론

직류전기철도는 전철용변전소로부터 전차선을 통해 전력을 차량에 공급한다. 따라서, 변전소에서 차량까지의 거리가 긴 차량이 많은 부하전류가 필요한 경우, 변전소에서 차량으로 대전류가 흐르기 때문에, 가선의 전기저항분에 의해 차량의 팬터점 전압이 크게 강하한다. 그 차량의 부근에 전력저장장치가 있는 경우, 차량의 부하가 클 때, 저장장치가 전류를 방전함에 따라, 변전소로부터의 전류가 억제되기 때문에, 전압강하도 억제된다. 또한, 변전소 전류가 억제되는 것에 따라, 변전소전력의 피크컷 효과로 이어져, 변전소의 계약전력량의 감소 등을 기대할 수 있다. 나아가 차량의 회생전력이 전력저장장치를 출력함에 따라, 회생전력의 유효이용에 의한 에너지절감 효과, 차량의 회생브레이크실효대책으로도 이어진다. 최근, 전기자동차의 구동용 전원과 백업전원용 등 에너지절감의 대책으로써 전력저장매체의 개발은 눈부신 일입니다. 직류전기철도의 전력저장장치 적용으로써, 지금까지 고에너지 밀도를 가진 배터리변전소(납전지사용)와 신속한 부하변동응답으로 강한 플라이트 등이 고안되고 있으며, 일부에서는 실용화되고 있다. 그러나 수명이나 효율, 유지관리 등의 과제가 아직 남아있으며, 아직 본격적으로 광범위하게 실용화되고 있는 단계는 아니다. 전기이중층 캐패시터는, 급속충방전이 가능하며, 긴 수명, 유지를 위한 관리가 필요 없고, 저공해, 고효율 등의 이점을 가진 유력한 전력저장매체의 하나이며, 그 내용량화가 급속하게 진전되고 있는 점에서, 전기철도에서의 응용이 기대되고 있다. 거기서, 전기이중층 캐패시터를 저장매체로 하고, 승강압효과로 억제하는 철도용 전력저장장치를 개발하고자 한다.

### 2. 회생에너지의 기본 원리

현재, 일반적인 전동차의 브레이크는, 주행시에 전동차가 갖는 운동에너지를 전기에너지로 바꾸어 가선으로 되돌리는 "회생브레이크"(그림1, 그림2)가 표준화되어 있다. 감속시에 기계마찰을 수반하지 않는 비접촉 브레이크이기 때문에 열을 발생시키지 않고 마모분진이 나오지 않는 등 에너지 절약적인 브레이크 시스템이다. 가선으로 되돌린 전기에너지는 다른 전동차가 구동하기 위한 에너지로 이용된다. 즉, 가선으로 연결된 전동차 사이에 전기에너지의 캐치볼을 실행하는 것으로 전기에너지를 헛되지 않게 재이용하고 있다(그림3). 그러나, 자신의 차의 부근에 다른

전동차가 주행하고 있지 않는 경우에는, 그 에너지는 소비되지 않고 회생브레이크의 기능이 들지 않게 된다(그림4). 이러한 경우, 차량은 마찰브레이크를 써서 정지하기 위해 에너지를 회수할 수 없게 되며, 나아가 부품의 소모나 열화도 일어나게 된다. 이른 아침과 심야에는 회생브레이크가 동작해도 실효성이 없거나, 운동에너지를 일부밖에 전기에너지로 변환할 수 없는 경우(그림5)가 발생한다.

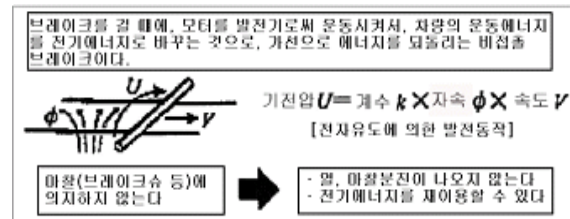


그림 1. 회생브레이크 원리

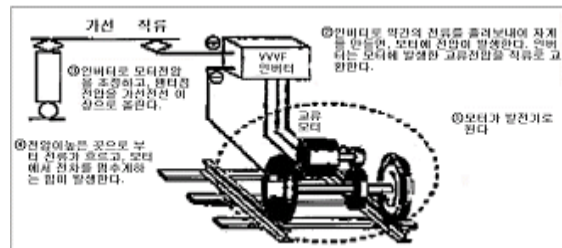


그림 2. 회생브레이크

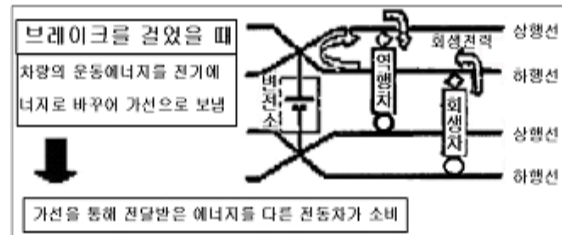


그림 3. 가선에 회생전력 공급

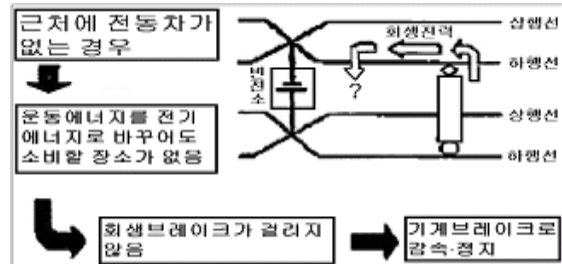


그림 4. 기계브레이크로 정지·감속하는 경우

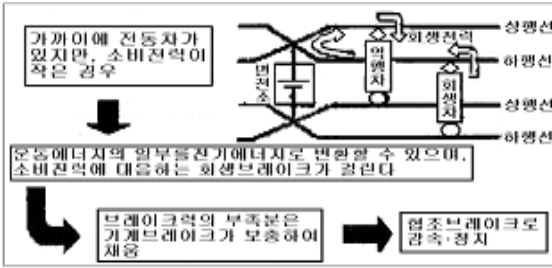


그림 5. 브레이크력이 작은 경우

### 3. 회생에너지 활용성 검토

#### 3.1 변전소 회생에너지 절감량

선릉 및 낙성대의 측정데이터를 근거로 2~3개역에서 발생하는 회생 에너지의 활용도를 검토하고자 한다.

지면이 작아 측정 데이터 표를 본 논문에 나타내지 못했지만, 낙성대의 Feeder 3에서의 회생에너지 량은 1일(12월22일 23시 46분을 기준으로 24시간)데이터를 기준으로 산정하면 4,159[kWh]가 발생되고 Feeder 4에서의 회생에너지 량은 3,572[kWh]로 산정되었다. 또한 변전소의 모선에 사용되는 Feeder는 총 4개이기 때문에 Feeder3과 Feeder4의 측정된 회생에너지 평균(3,866 [kWh])을 기준으로 Feeder1~4 까지의 측정된 회생 에너지를 추정하면, 그 값은 15,464 [kWh]이 된다.

- 1일 평균 회생 에너지량 :  
 $15,464 \text{ [kWh]} \times 90 = 1,391,760 \text{ 원(변전소 모선을 기준)}$
- 1년 평균 회생 에너지량 :  
 $1,391,760 \times 365 = 507,993 \text{ 천원}$   
 선릉역에서의 측정데이터를 근거로 회생에너지를 산출하면,
- 1일 평균 회생 에너지량 :  
 $\text{Feeder1} + \text{Feeder2} + \text{Feeder3} + \text{Feeder4} + 5 \text{ 시간}$   
 평균전력량 = 20,155[kWh] :  
 $20,155 \text{ [kWh]} \times 90 = 1,813,950 \text{ 원}$   
 (변전소 모선을 기준, 측정데이터 19시간)
- 1년 평균 회생 에너지량 :  
 $1,813,950 \times 365 = 662,092 \text{ 천원}$

#### 3.2 변전소 설치시 설치비용 검토

변전소마다 1세트의 장치 설치시, 측정된 데이터(표: 회생전력량 참조)를 근거로 시간당 최대 회생전력을 검토하면 약 950kWh가 된다. 차량의 운행시격과 만차, 구매조건, 차량속도 및 여유율을 고려해서 약 1,500kWh의 시스템이면 충분하다고 사료된다. 이때 각 사양에 대한 검토 비용은 아래와 같다.

- 슈퍼캐패시터의 비용: 가선 정격전압 DC1500V를 기준으로 승강압 초퍼를 사용하는 경우 공칭전압을 DC1100V로 제어하는 것으로 설계하면, 1개당 2.5V/4,700uF의 캐패시터를 사용시 1직렬 구조에 약 440개의 수량이 산출되고 저장 에너지를 고려하여 12병렬로 구성시  $440 \times 12 = 5,280$ 개가 산출된다. 현재 국내에서 제작되는 슈퍼캐패시터의 단가는 수량에 따라 다소 차이가 있지만 약 170,000원 정도이고 국외의 슈퍼캐패시터의 단가는 약 255,000원으로 추정된다. 따라서, 슈퍼캐패시터의 비용은  $5,280 \times 170,000 =$  약 9억으로 산출된다.
- 플라이휠의 비용은 증대용량의 경우 25억~30억으로 추산된다.
- 1세트 전력변환장치 (1.5MW) 설계 및 설치 비용: 현재 차량에 설치되는 전력변환장치를 고려하여 상기와 같은 용량을 계산하면 전력변환 장치의 경우 약 3억~6억으로 추정

값이 됨

• 회생 에너지량에 대해 변전소 설치시의 비용을 검토해 보면 개발비용과 설치 및 장치의 비용으로 약 15억 정도가 소요되어 약 3년의 운행시 설치비용을 회수할 수 있음.

2호선 15개 변전소에 에너지저장시스템을 모두 설치시 에너지 총 절감량을 살펴보면 2호선 1년 에너지 소비량이 약 300억원일 때, 최소 약 75%의 에너지절감을 할 수 있다.

### 4. 결론

회생 에너지량에 대해 1 변전소/당 설치시의 비용을 검토해 보면 개발비용과 설치 및 장치의 비용으로 약 15억 정도가 소요되어 약 3년의 운행시 설치비용을 회수할 수 있기 때문에 충분한 경제성이 있다고 할 수 있다. 또한 변전소마다 운행 차량의 종류 및 회생 에너지량과 역행소비전력의 차이가 크게 발생되기 때문에 순간적인 전력의 변화와 순간정전에 따른 운영의 장애해소와 차량 기기들의 고장률 저감 등에 따른 부가적인 가치들을 고려할 때 충분한 경제성이 있다고 할 수 있다. ‘교도의정서’가 발표된 이후 전기철도가 보다 발전된 환경친화적인 에너지절감 효과를 발휘할 수 있도록 기술을 향상시키는 것이야말로 철도에 관련된 연구원, 기술자들의 사명이라 사료된다.

### 5. 참고문헌

- [1] Shedon A. Williamson, S. Chowdary Rimmalapudi, and Ali Emadi, "Electrical Modeling of Renewable Energy Sources and Energy Storage Device", JPE 4-2-7, pp 117-126
- [2] 한문섭, "전력계통의 동향", 한국철도기술, 01.02, 34-36, 2005
- [3] SIEMENS AG, "SITRAS SES, Energystorage system for mass transit systems", 2005
- [4] 김일환, 남경완, 김광범, "수퍼캐패시터와 나노 소재 기술", NICE, 제 21 권 제 4 호, 2003
- [5] Joyelle Harris Jones, "Global Markets for Capacitors, Flywheels and SMES Systems : Emerging and Mature Technologies", Business Communications Company, Inc., 2006