

## 슈퍼커패시터를 이용한 도시형 철도의 가선전압 안정화

孫景珉\*, 崔載昊†, 金炯哲\*\*

## Line Voltage Regulation of Urban Transit Systems Using Supercapacitors

Kyoung-Min Son, Jaeho Choi, and Hyung-Chul Kim

## 요 약

슈퍼커패시터를 이용하여 철도 차량의 가·감속 시에 발생하는 DC 가선전압의 변동을 안정화하는 방법을 제안하였다. 이를 위해서 슈퍼커패시터를 서로 다른 3개의 시정수를 가지는 전압가변 정전용량을 가지는 RC회로로 가정하고 실험적인 방법으로 파라미터 값을 결정하여 전기적인 모델링을 수행하였다. 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치를 구성하여 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안된 모델을 검증하고 제어를 설계하였다. 그리고, 경산 시험선에서 실증시험을 수행하고 경제성을 평가하였다.

## ABSTRACT

This paper proposes a regulation method of DC line voltage for urban transit system fluctuated during the acceleration or deceleration by using supercapacitor. Supercapacitor is modelled electrically under the assumption of three different time constants of RC circuits with variable capacitances depending on the voltage. And its parameters are determined by the experimental measurements. The energy storage system using supercapacitors is installed based on this model, and the proposed model is tested through the simulations and experiments, and the controller for charging and discharging is designed. Finally, it is tested at Kyoungsan test site for the urban light rail road system and the energy saving effect is evaluated economically.

**Key Words** : Line voltage regulation, Supercapacitor, Bi-directional DC-DC converter, Energy storage system

## 1. 서 론

철도차량이 감속할 때 발생하는 회생에너지는 인접한 차량의 가속이 동시에 발생하는 경우에는 인접한 차량으로 회생에너지를 전달하여 활용할 수 있다. 하지만 인접한 차량의 가속과 본 차량의 감속이 일치하지 않는 경우 또는 운행 시격이 너무 길어서 변전소의

가선구간에 에너지를 흡수할 차량이 존재하지 않는 경우에는 철도 차량에서 발생하는 회생에너지는 가선의 전압을 상승시키는 요인이 된다.<sup>[1][2],[7]</sup> 그림 1은 철도 차량이 가속과 감속을 반복하는 운행구간에서 이러한 가선 전압을 보여준다. 전동기가 구동하여 차량이 가속하는 경우에는 가선의 전압이 떨어지고, 반대로 차량이 감속하는 경우에는 차량에서 발생하는 회생에너지로 인해 전압이 상승하게 된다. 가선 전압의 상승은 가선과 연결된 전력변환장치에 나쁜 영향을 끼치게 된다. 현재는 이러한 문제점을 보완하기 위해서 저항기로 회생에너지를 소모하여 가선전압을 안정화시키고 있지만, 저항기의 사용에 따른 발열로 인해 역사내의 온도를 상승시켜 냉방비용이 증가하는 문제가 있다.

†교신저자 : 정희원, 충북대 전기공학부 교수

E-mail : choi@chungbuk.ac.kr

\*학생회원, 충북대 전기공학과 석사과정

\*\*정희원, 우진산전 기술연구소 책임연구원

접수일자 : 2009. 8. 18

1차 심사 : 2009. 10. 1

2차 심사 : 2009. 10. 19

심사완료 : 2009. 10. 20

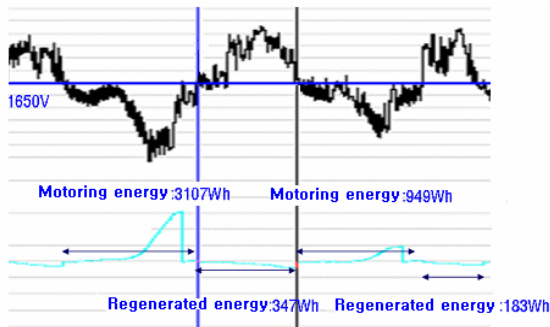


그림 1 차량 운행 시 가선 전압의 변동  
 Fig. 1 Consumed and regenerated energy in the reference voltage

최근 이러한 문제점을 해결하기 위해 회생에너지를 재활용하는 방법들이 연구되고 있다. 회생에너지를 이용하는 방법 중의 하나로 에너지 저장장치가 사용된다. 에너지 저장장치를 사용함으로써 회생에너지를 저장할 수 있고 이를 이용하여 가선전압을 안정화시킬 수 있다.<sup>[3],[5]</sup> 비용적인 측면을 고려해 보면 슈퍼커패시터와 전력변환 장치로 인해 비용증가가 예상되지만 슈퍼커패시터의 반영구적인 수명과 재생하는 에너지로 인해 초기 투자비용은 충분히 상쇄될 수 있다. 에너지 저장장치의 저장매체로는 플라이휠, 배터리, 슈퍼커패시터 등이 사용될 수 있다. 본 논문에서는 슈퍼커패시터를 사용한 에너지 저장장치에 대해 연구하였다. 철도차량에 에너지 저장장치를 부착하여 동작하는 방법에는 차량에 직접 설치하는 방법<sup>[11]</sup>과 변전소나 역사에 설치하는 방법이 연구되고 있다.<sup>[6]</sup> 전차의 경우 계통가선의 임피던스에 따르는 전압강하에 대한 영향을 최소화할 수 있는 장점이 있는 반면에 슈퍼커패시터를 전동차에 설치해야 하는 공간적 제한과 무게의 증가로 인해 전동차의 설계단계부터 고려되지 않았으면 현실적으로 구현에 어려움이 있다. 반면에, 후자의 경우는 저장장치를 실장에 따르는 문제가 발생하지는 않지만, 계통가선의 임피던스로 전압강하의 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 현재 운용되고 있는 전동차의 문제점을 현실적으로 개선하는 방안을 강구한다는 관점에서 변전소나 각 역사에 에너지 저장장치를 설치하는 방법을 고려하여 연구를 진행하였다. 에너지 저장장치는 에너지를 저장하기 위한 슈퍼커패시터와 충·방전을 위한 양방향 DC-DC 컨버터로 이루어져 있다. 기존의 논문에서는<sup>[14]</sup> 변동하는 가선을 컨버터를 이용하여 임의로 구현하였다. 반면 본 논문에서는 실제 모터의 파라미터를 이용하여 전동차량이 운행할 때의 가선전압 변동을 고

려하여 시뮬레이션을 수행하고 실제 경산시험선에서 운용한 결과와 비교를 시도하였다. 본 논문에서는 에너지 저장장치 연구에 앞서 슈퍼커패시터의 전기적인 특성을 분석하기 위해 물리적인 특징을 고려하여 서로 다른 3개의 시정수를 가지는 전압가변 정전용량을 가지는 RC 회로로 슈퍼커패시터를 전기적으로 모델링하고, 각각의 파라미터를 실험적인 방법으로 측정하는 기법을 제안하였다. 본 연구에 사용된 Maxwell사 BCAP 3000F에 대하여 각각의 파라미터를 실험적인 데이터로부터 계산하고 계산된 파라미터를 슈퍼커패시터의 전기적 모델에 이용하였다. 그리고, 전압가변 정전용량을 가지는 슈퍼커패시터에 대하여 PSiM 시뮬레이션 모델을 개발하고 시뮬레이션을 수행하여 해석하였다. 이렇게 모델링된 슈퍼커패시터와 양방향 DC-DC 컨버터를 사용하여 에너지 저장장치를 구성하였고 시뮬레이션과 실험결과를 통해 에너지 저장장치의 효율성을 검증하였다.

## 2. 슈퍼커패시터의 전기적 모델링<sup>[4],[12],[13]</sup>

전기화학적 메커니즘을 기본으로 슈퍼커패시터는 서로 다른 커패시턴스 값에 의해서 발생하는 내부충전 재분배와 서로 다른 시정수를 가지는 전송라인을 모델링하기 위해 병렬 RC 전송라인으로 모델링되어야 한다. 이 때 내부충전 재분배는 슈퍼커패시터가 정격전압에서 0V까지 완전히 방전된 후에 다시 전압상승이 발생하는데 이런 현상은 슈퍼커패시터의 내부에 서로 다른 커패시턴스 값에 의해 발생하는 것이다. 본 논문에서는 향후, 배터리와 같이 시정수가 다른 에너지 저장장치와 하이브리드로 구성할 경우에 대비하여 슈퍼커패시터의 과도상태에서의 응답특성에 따른 시스템 응답동작에 차별성을 가지고자 그림2와 같이 3단계의 전송라인으로 모델링하였다. 여기서, 첫 번째 전송라인은 다른 전송라인 보다 아주 작은 시정수를 가졌으며 첫 번째 전송라인에서 마지막 전송라인으로 이동할수록 시정수가 점점 증가하고 전송라인 응답속도 또한 느려진다. 첫 번째 전송라인은 총 저항과 총 커패시터 값을 가지며, 두 번째에서 마지막 전송라인까지는 슈퍼커패시터의 내부충전 재분배를 나타내기 위해서 모델링되었다. 3개의 전송라인의 커패시터는 전압 의존성을 반영하기 위해서 일정한 커패시터와 전압상승에 따라서 선형적으로 증가하는 전압 의존 커패시터로 모델링되었다. 마지막에 병렬 연결된 저항은 자기방전(Self discharge) 특성을 나타내기 위해서 추가되었다.

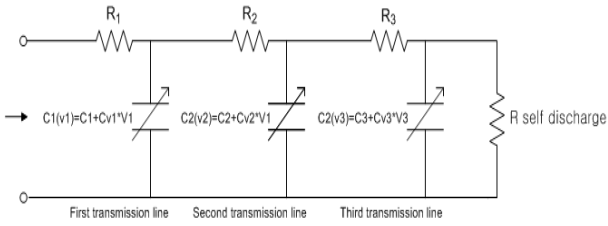
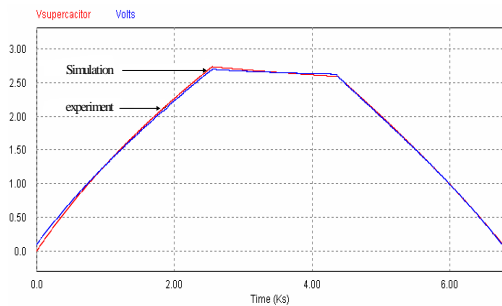


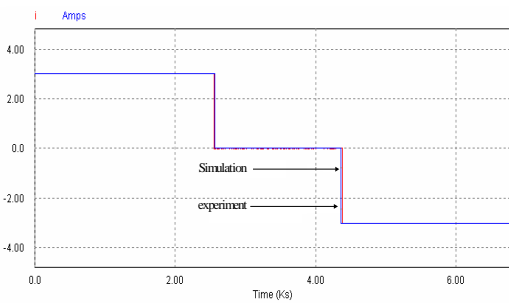
그림 2 슈퍼커패시터의 등가회로 모델  
Fig. 2 Equivalent circuit of supercapacitor

표 1 슈퍼커패시터 파라미터  
Table 1 Parameter of supercapacitor

Parameter	Value
$R_1$	1.38mΩ
$C_1$	1973F
$C_{e1}$	240.89F
$R_2$	6.83Ω
$C_2$	592.07F
$C_{e2}$	56.28F
$R_3$	17.65Ω
$C_3$	64.31F
$C_{e3}$	439.2F



(a)



(b)

그림 3 모델링 한 슈퍼커패시터의 시뮬레이션과 실험 결과 비교 파형  
Fig. 3 Simulation and experimental result of supercapacitor

2.1 슈퍼커패시터 등가모델의 실험 및 시뮬레이션

그림 3은 모델링된 슈퍼커패시터의 시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과를 비교한 그림이다. 그림 6(b)은 일정한 전류(3A)로 충전과 방전에 대한 전류 응답을 보여주고 그림 3(a)에서는 슈퍼커패시터 전압응답의 시뮬레이션과 실험결과를 비교한 파형이다. 시뮬레이션과 실험 결과가 거의 일치하는 것을 보여준다.

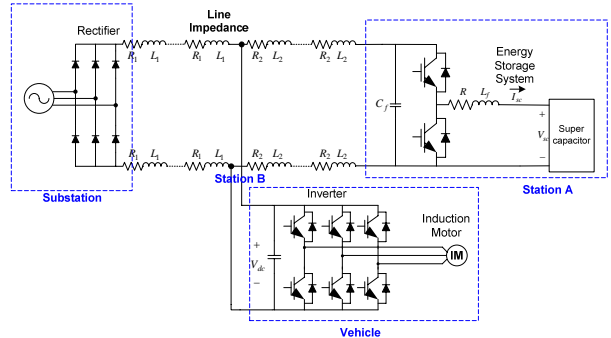


그림 4 에너지 저장장치의 전체 회로도  
Fig. 4 Configuration of power circuit

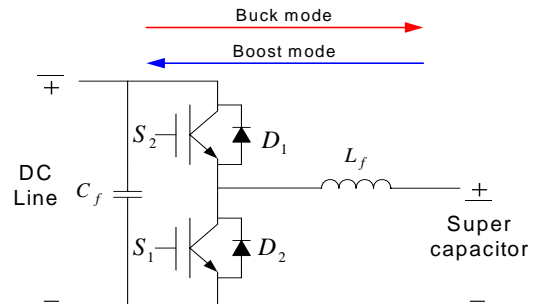


그림 5 양방향 DC-DC 컨버터의 동작 모드  
Fig. 5 Operation modes of bi-directional DC-DC converter

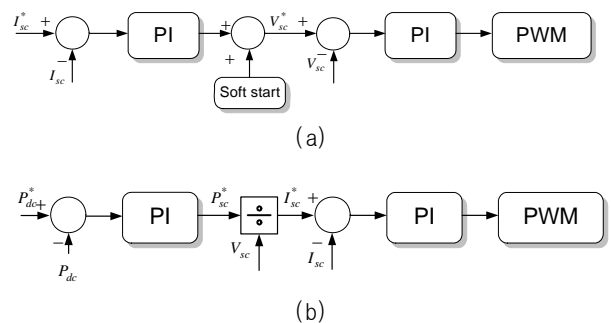


그림 6 제어 블록도 ; (a) 초기충전모드 (b)충/방전모드  
Fig. 6 Control block ; (a) initial charging mode (b) charging/discharging mode

### 3. 에너지 저장장치

에너지 저장장치의 전체회로는 그림 4와 같이 구성되어 있다. 변전소에서 AC 전원을 DC 750V 로 변환하여 철도차량의 인버터와 에너지 저장장치의 양방향 DC-DC 컨버터에 공급하여 준다. 차량은 A역과 B역 사이를 왕복 운행하는데 에너지 저장장치는 A역에 설치되어 있다.

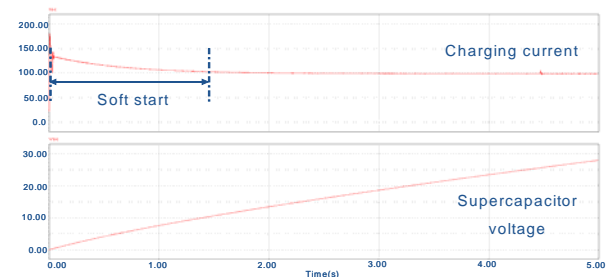
에너지 저장장치에 사용되는 양방향 DC-DC 컨버터는 3종류의 동작모드를 가진다.<sup>[8]</sup> 시스템 구동 초기에 실시하는 초기 충전모드와 가선전압 레벨이 상승할 때 수행하는 충전모드, 그리고 가선 전압이 떨어질 때 수행하는 방전모드이다. 초기 충전모드와 일반 충전모드에서는 벡 컨버터로서 동작하고 방전모드에서는 부스트 컨버터로 동작한다. 그림 5는 양방향 DC-DC 컨버터의 동작모드를 보여준다.<sup>[9]</sup>

그림 6은 각각의 모드로 동작할 때의 제어 알고리즘은 나타낸 것이다. 초기 충전모드에서는 일정 전류로 슈퍼커패시터를 충전하는 정전류 제어기법을 사용한다. 충전 초기에 전류가 급격히 상승하는 것을 막기 위한 소프트 스타팅 기법을 사용하였다. 반면, 일반 충전모드와 방전모드에서는 전력 제어를 사용하여 DC 가선 전압을 일정하게 유지시켜준다. DC 전압이 일정 전압보다 높게 되면 슈퍼커패시터로 충전을 하여 가선 전압을 유지시켜주고, DC 전압이 떨어질 때에는 슈퍼커패시터에 저장되어 있던 에너지를 방전하여 가선 전압을 일정하게 유지시켜준다.

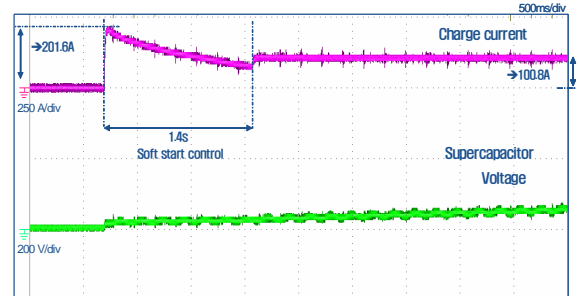
### 4. 시뮬레이션 및 실험

그림 7은 초기 충전모드에서의 시뮬레이션 및 실험 결과이다. 충전 초기의 약 1.4초 동안에는 소프트 스타트 구간으로 전류 지령치인 100A를 추종하지 못하지만 전류의 급격한 상승을 억제하여 준다. 소프트 구간이 끝나는 시점부터는 충전전류 지령치인 100A를 추종하여 정 전류 충전이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 실험결과 역시 시뮬레이션 결과와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 에너지 저장장치가 없을 때의 가선전압 변화를 시뮬레이션한 결과이다. 경산 시험선에 설치된 전동차의 모터 파라미터를 적용하여 실제 시스템과 유사하게 전동차분을 구성하였고<sup>[10]</sup> 전동차가 운행함에 따라 계통가선의 전압강하를 고려하기 위해 본 논문에서는 전동차가 임의의 위치에 있을 때의 정상상태 해석을 수행하였다. 향후 이 문제를

포함한 모델링 및 시뮬레이션을 수행할 계획에 있다. 차량이 가속시에 DC가선 전압이 약 150V 정도 떨어지고, 반대로 감속할 때에는 회생에너지로 인해 600V 정도 상승하는 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 에너지 저장장치를 설치한 경우에 가선전압과 슈퍼커패시터의 충/방전 모드를 시뮬레이션한 결과이다. 가선이 떨어질 때는 슈퍼커패시터에 저장된 에너지를 방전하여 보상하여 주고, 가선이 상승했을 때에는 회생에너지를 슈퍼커패시터에 저장하여 DC 가선전압이 안정화되는 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 7 초기 충전 모드 ; (a) 시뮬레이션 결과 (b) 실험 결과

Fig. 7 Initial charging mode ; (a) simulation results (b) experimental results

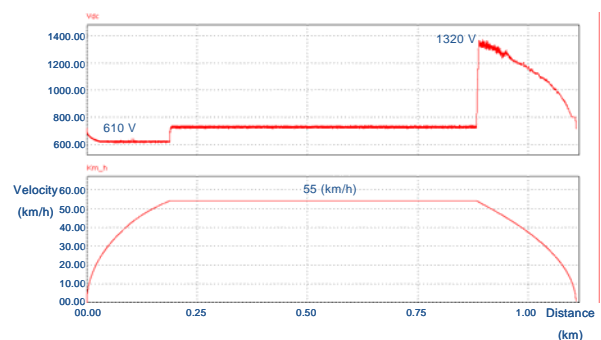


그림 8 에너지 저장장치가 없을 때의 가선 전압의 변화  
Fig. 8 Simulation results for operation vehicle without energy storage system

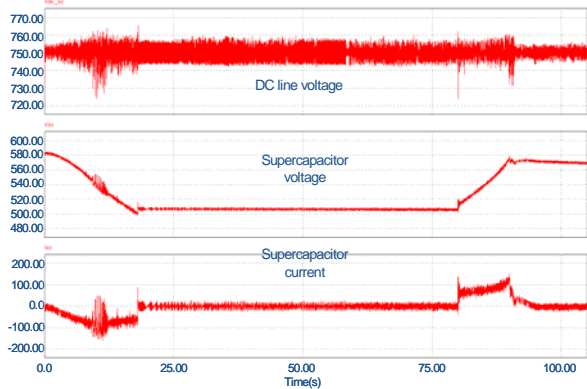


그림 9 에너지 저장장치를 설치했을 때의 가선 전압의 변화  
Fig. 9 Simulation results for operation vehicle with energy storage system

표 2는 경산시험선에 설치된 에너지 저장장치의 특성을 나타낸다. 에너지 저장장치의 총 커패시턴스는 82.5F이고 에너지 용량은 14MJ이다. DC 가선 전압이 800V 이상이 되면 슈퍼커패시터로의 충전이 이루어지고 730V 이하가 되면 슈퍼커패시터에서 방전이 이루어진다.

슈퍼 커패시터는 280V~560V 사이의 범위에서 동작하게 된다. 방전 시 슈퍼 커패시터의 전압이 280V 이하가 되면 방전을 멈추게 되고, 충전 시 560V이상이 되면 발생하는 회생에너지는 회생 저항기를 통해 소모하게 된다.

표 2 경산 시험선의 에너지 저장장치 특성  
Table 2 Specification of the energy storage system in Kyoungsan test site

Supercapacitor	Maximum voltage	583.6 V
	Maximum current	1,500 A
	Capacitance	82.5 F
	Maximum energy	14 MJ
	Inner resistance	89.25 mΩ
	Range of voltage	280V~560V
Converter	Charging voltage	800 V
	Discharging voltage	730 V
	Maximum current	750 A

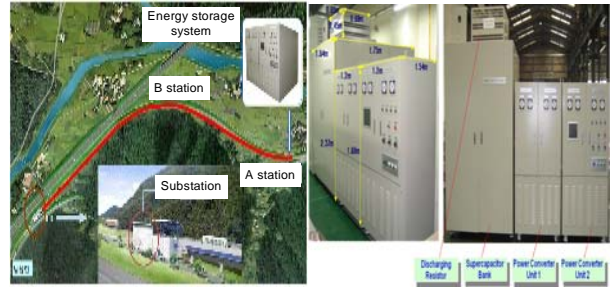


그림 10 경산 시험선의 모습  
Fig. 10 Kyoungsan testing site

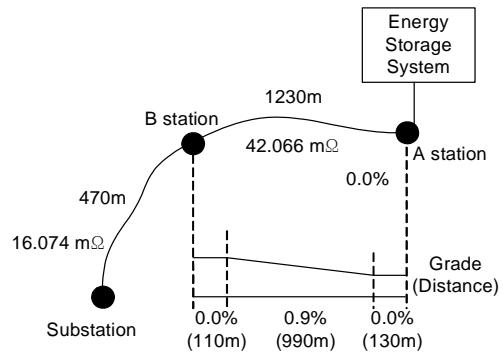


그림 11 경산 시험선의 노면 상태  
Fig. 11 Kyoungsan testing site rail condition

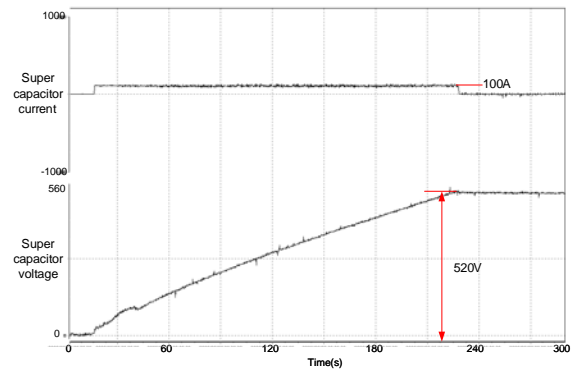


그림 12 초기 충전 모드 실험 결과  
Fig. 12 Initial charging mode

그림 10은 경산시험선의 모습이다. 변전소가 있고 열차는 A역과 B역을 왕복 운행한다. 에너지 저장장치는 A역에 설치되어있다. 그림 11은 차량의 운행 노면 상태를 나타낸다. 운행하는 총 거리는 1230m 이고 A역과 B역 사이에 약간의 경사가 있다. 변전소와 B역과의 거리는 470m 이다.

그림 12는 경산 시험선에서의 초기 충전 실험결과이다. 100A 정 전류 충전모드이며 커패시터의 전압이

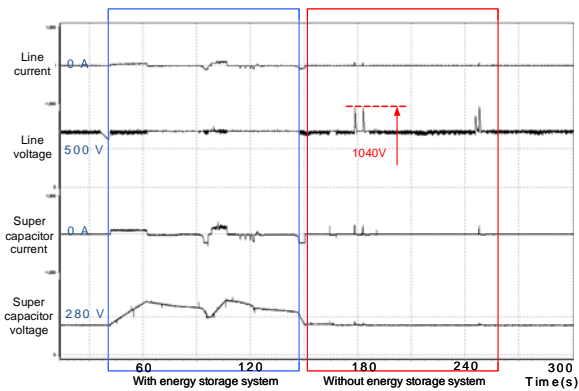


그림 13 에너지 저장장치가 동작 유/무에 따른 가선 전압의 비교 파형  
Fig. 13 Compared line voltage with and without energy storage system

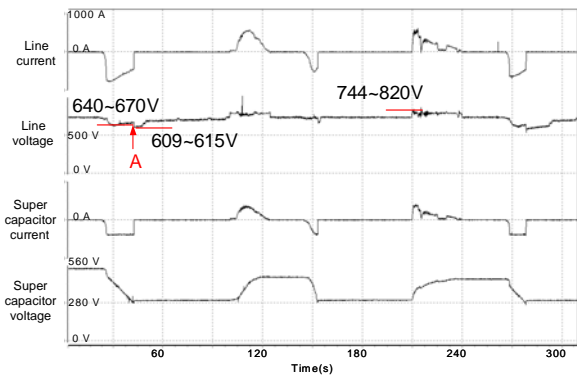


그림 14 차량 운행 시 가선 전압 안정화 결과 파형  
Fig. 14 Example of test results for voltage compensation at operated train

520V 이상이 되면 더 이상 충전을 하지 않는다. 그림 13은 에너지 저장장치가 동작할 때와 하지 않을 때의 비교 파형이다. 에너지 저장장치가 동작할 때에는 슈퍼커패시터가 충/방전을 하면서 DC 가선전압을 일정하게 유지시켜 주지만 동작하지 않을 때에는 가선전압이 상승하는 것을 확인할 수 있다.

그림 14는 경산시험선에서의 실험 데이터이다. 시뮬레이션과 마찬가지로 750V 가선전압이 변동하게 되면 슈퍼커패시터가 충·방전을 하게 되어 가선 전압을 안정화시켜준다. A점은 슈퍼커패시터 방전 시 슈퍼커패시터의 전압이 떨어져 280V의 저전압 레벨에 도달하여 더 이상 방전을 하지 못하게 되어 가선전압이 더욱 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 슈퍼커패시터가 방전하여 가선전압을 보상함에도 불구하고 전압이 약간 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 전력변환장치 보호를 위해 100A로 전류를 제한하였기 때문인데, 만

표 3 변전소 소비전력 (Wh)

Table 3 Power consumption at substation in Wh

차량	6량 1편성		2량 1편성	
	설치	미설치	설치	미설치
1	14478	18014	4555	5098
2	14030	17631	4212	5006
3	13618	17596	4462	4987
4	13989	17600	4327	5158
5	13814	17494	4302	5179
6	14034	17296	-	-
7	13736	17483	-	-
평균	13957	17588	4371.6	5085.6

약 슈퍼커패시터와 DC-DC 컨버터의 전류용량을 증가시키면 개선할 수 있다.

에너지 저장장치의 동작 유무에 따른 소비전력을 표 3에 나타냈다. A역과 B역 사이를 6량 1편성의 경우는 7차례, 2량 1편성의 경우는 5차례의 반복운행을 수행하여 데이터를 얻었다. 이를 통하여 에너지 저장장치를 설치할 경우 6량 1편성의 경우에는 3.63 kWh, 2량 1편성의 경우에는 0.71 kWh의 에너지가 절약되는 것을 알 수 있다. 이는 각각 20.6%, 14.0%의 에너지 절약 효과를 볼 수 있는 것이다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치를 사용하여 철도 차량에서의 가선전압 안정화 방법을 제시하였다. 먼저 실험 데이터를 기반으로 한 슈퍼커패시터 전기적 모델링의 파라미터 추정 방법을 제안하였고, 양방향 컨버터와 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치에 대한 제어 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션과 경산시험선 실험 결과를 바탕으로 본 논문의 타당성을 검증하였다. 이러한 결과를 통하여 에너지 저장장치의 효과를 요약하면 다음과 같다.

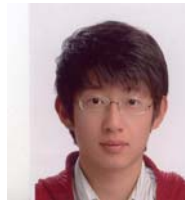
- 1) 차량이 가속하는 경우에는 DC 가선전압이 하강하게 되는데, 에너지 저장장치를 사용할 경우 슈퍼커패시터에 저장된 에너지가 방전되어 DC 가선전압의 하강을 보상하여 일정하게 유지시켜 준다.
- 2) 차량이 감속하는 경우에는 회생에너지로 인하여 DC 가선전압이 상승하게 되는데, 에너지 저장장치를 설치한 경우에는 회생에너지를 회수하여 DC 가선의 안정화와 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.
- 3) 경산시험선에서 시험 운행한 결과 에너지 저장장치를 설치한 경우에 대략 20%의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있었다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과 (NIPA - 2009 - (C1090 - 0904 - 0007))와 한국철도기술연구원의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

## 참 고 문 헌

- [1] 김길동, 김중대, 이한민 “전동차 회생 에너지 저장 시스템 개발에 관한 연구”, *한국철도학회 학술발표대회 논문집*, pp. 24-28, 2005.
- [2] 김길동, 이한민 “전동차 회생에너지 활용을 위한 저장시스템 기술”, *한국조명전기설비학회 논문집*, 제20권, 제2호, pp. 10-15, 2006.
- [3] B.J. Arnet and L.P. Haines, “High power DC-to-DC converter for supercapacitors”, *Electric Machines and Drives Conference*, pp. 985-990, 2001.
- [4] S. Noh, H. Kim, E. Lee, and J. Choi, “PSiM Based electric modeling of supercapacitors for line voltage regulation of electric train system”, *Conf. Rec. PESC'08*, pp. 855-859, 2008.
- [5] A. Adinolfi, R. Lamedica, C. Modesto, A. Prudenzi, and S. Vimercati, “Experimental assessment of energy saving due to trains regenerative braking in an electrified subway line”, *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 13, No. 4, pp. 1536-1542, 1998.
- [6] B. Mellitt, C. J. Goodman, “Simulation study of DC transit systems with inverting substations”, *IEE Proc.*, Vol. 131, No. 2, pp. 38-50, 1984.
- [7] C. Bae, D. Jang, Y. Kim, S. Chang, and J. Mok, “Calculation of regenerative energy in DC 1500V Electric Rail way Substations”, *Conf. Rec. ICPE '2007*, WEC 2-4, 2007.
- [8] E. Takahara, T. Wakasa, and J. Yamada, “A study for electric double layer capacitor (EDLC) application to railway traction energy saving including change over between series and parallel modes”, *Conf. Rec. PCC - Osaka 2002*, Vol. 2, pp. 855-860, 2002.
- [9] W. Lhomme, P. Delarue, P. Barrade, A. Bouscayrol, and A. Ruffer, “Design and control of a supercapacitor storage system for traction applications”, *Conf. Rec. IEEEIAS '05*, Vol. 3, pp. 2013-2020, 2005.
- [10] D. Iannuzzi, “Improvement of the energy recovery of traction electrical drives using supercapacitors”, *Conf. Rec. EPE-PEMC*, pp. 1492-1497, 2008.
- [11] R. Barrero, X. Tackoen, J. Van Mierlo, “Analysis and configuration of supercapacitor based energy storage system on-board light rail vehicles”, *Conf. Rec. EPE-PEMC*, pp. 1535-1540, 2008.
- [12] F. Belhachemi, S. Rael, and B. Davat, “A physical based model power electric double-layer supercapacitors”, *Conf. Rec. IEEE IAS'97*, pp. 1097-1100, 1997.
- [13] L. Zubieta and R. Bonert, “Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications”, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 36, No. 1, pp. 199-205, 2000.
- [14] 김종윤, 정두용, 장수진, 이병국, 원충연, “슈퍼 커패시터를 이용한 직류철도 회생에너지 저장장치”, *전력전자학회 논문지*, 제13권, 제4호, pp. 247-256, 2008.

## 저 자 소 개



### 손경민(孫景珉)

1982년 8월 5일생. 2008년 충북대 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



### 최재호(崔載昊)

1955년 9월 27일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1981년~1983년 중 경공업전문대학 전자과 전임강사. 1983년~현재 충북대 전기공학부 교수. 1993년, 1998년, 2003년, University of Toronto 객원교수. 2007년~2008년 당 학회 부회장. 현재 JPE 편집위원장.



### 김형철(金炯哲)

1972년 12월 26일생. 1995년 충북대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2008년~현재 우진산전 기술연구소 책임연구원.