

도시철도용 1500V급 에너지저장시스템 에너지 절감을 현장시험

이한민*, 김길동**, 이경복***, 김대석****
 한국철도기술연구원*, 한국철도기술연구원**, 대전도시철도공사***, 우진산전****

Field Test of 1500V급 ESS for Urban Transit System

Han-Min Lee*, Gil-Dong Kim**, Kyoung-Bok Lee***, Tae-Seok Kim****
 KRRI*, KRRI**, DJET***, Woojin****

Abstract - This paper presents field tests about the energy saving rate of the developed 1500V ESS. When the ESS is on/off, energy saving rate of the ESS is tested. The verification test in the field focused on energy saving.

성되어 있다. 그림 1에 노선 조건을 보여준다.

1. 서 론

전기철도는 상대적으로 승객과 상품을 수송하는 자동차 보다 에너지를 덜 소비하기 때문에 청정 에너지 절감 시스템이다. 에너지의 90%가 견인력을 위해 소비되고 10%가 보조전력을 위해 소비된다. 회생에너지는 소비에너지의 약 40%가 된다. 전원으로 에너지를 되돌리는 능력을 가진 차량의 견인력의 최대 40%가 제동시 회생될 수 있다. 에너지 저장시스템은 제동시 발생된 에너지를 저장하고 차량이 역행할 때 다시 에너지를 방전한다. 본 논문은 개발된 에너지저장시스템을 대전도시철도 대동변전소에 설치하고 이에 따른 변전소 소비전력 절감율을 측정·분석에 관한 것이다.



〈그림 1〉 판암-대동-오룡변전소 위치 및 노선

2. 측정 환경

2.1 에너지 저장시스템 조건

도시철도용 에너지 저장장치는 대전도시철도 1호선 대동변전소에 설치되어 있으며, 대동변전소의 전력 공급 구간에 운행되는 전동차의 회생에너지를 충전하고, 이를 전동차 역행 시에 공급함으로써 변전소의 소비전력을 절감시킨다. 표 2.1에서 대전도시철도 1호선 적용된 에너지 저장시스템의 사양을 보여준다.

2.3 대전도시철도 차량 조건

대전도시철도 1호선에 운행 중인 4량 1편성 전동차의 제원은 표 2와 같다.

〈표 2〉 대전도시철도 1호선 전동차 제원

주요제원	항 목	비 고
운전형태	무인운전이 가능한 1인운전	
최고운행속도	80km/h	100km/h(열차 성능상)
승객정원	TC : 114명, M : 123명	4량 1편성 : 474명
최대승객하중	16ton/량(성능기준)25ton/량(강도기준)	
견인전동기	3상 농형 유도전동기, 대차장 가식	정격 : 210 [kW]이상 (연속)
견인제어장치	VVVF 인버터	전동기 4대 병렬영구 접속
보조전원장치	IGBT 소자사용 정지형 인버터	정격용량 : 150 [kVA]
제동방식	회생제동 병용 아날로그 전기저령식 공기제동	

〈표 1〉 에너지저장시스템 사양

슈퍼커패시터	구조	크기	1.83m(H) × 1.2m(W) × 1.3m(D)	
			최대전압	1,166 [V]
패시터 <td rowspan="4">전기적 특성</td> <td>최대전류</td> <td>1,600 [A]</td>	전기적 특성	최대전류	1,600 [A]	
		캐패시턴스	55.0 [F]	
		최대용량	28.04 [MJ]	
		구조	크기	1.83m(H) × 1.2m(W) × 1.3m(D)
군별	전기적 특성	최대전압	1,166 [V]	
		최대전류	400 [A]	
		캐패시턴스	13.75 [F]	
		최대용량	7.01 [MJ]	
초퍼부	구조	크기	메인 1.83m(H) × 1.2m(W) × 1.3m (D) 보조 1.83m(H) × 0.7m(W) × 1.3m (D)	
		가선측 전압	충전전압 1,660 [V] 방전전압 1,618 [V]	

2.2 대전도시철도 변전소 조건

급전 시스템은 AC22.9kV의 한전 전력을 입력으로 변압기를 통하여 강압한 후 12-펄스 정류기를 통해 DC 전력을 공급하는 직류 시스템으로 구성되어 있다.

DC 전력을 공급하는 정류기반은 총 3호기로 구성되며, 일별로 2호기가 교번 동작된다. 정류기반을 통하여 출력된 DC 1500V는 병렬 접속 구성된 Feeder 1, 2, 3, 4을 거쳐 가선에 전원을 공급함으로써 전동차에 추진 및 보조전원으로 DC 전력을 공급한다. 대동변전소 전력 시스템은 대동변전소를 기점으로 관암측 구간은 판암변전소와 병렬로 가선에 전력을 공급하고, 오룡측 구간은 오룡변전소와 병렬로 가선에 전력을 공급하는 급전 시스템으로 구

2.4 에너지 절감을 측정시험

변전소는 한전에서 교류 AC 22.9kV를 공급받아 변압기를 통해 운영 사령실 전등, 컴퓨터, 냉난방기, 신호시스템 등 수많은 AC 부하에 결선되어 있으며, 또한 정류기를 통해 직류로 변환하여 전동차에 전력을 공급한다. 이때 정류기 2차측 직류만 전동차에 전력을 공급된다. 한전 입력단 AC 22.9kV에서는 전동차만 소비하는 소비전력과 회생전력을 측정할 수가 없으므로 정류기 2차측 DC 전차선의 전압 및 전류를 측정하여 전동차에만 공급된 전력을 측정한다.

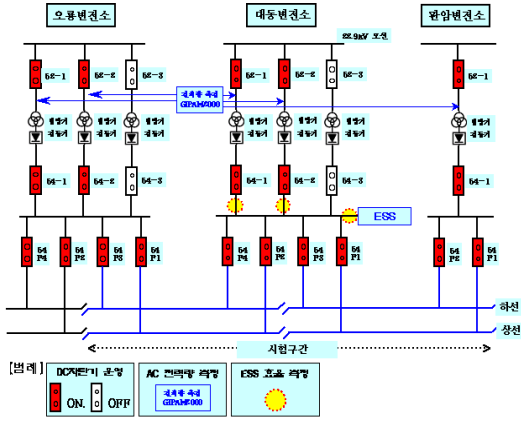
에너지 저장시스템의 설치로 인한 에너지 절감효과를 측정하기 위하여 변전소의 DC 전차선측에 전압 및 전류 센서를 설치하여 에너지 저장장치의 기동 시의 소비전력을 측정한다. 그림 2에서 측정개소를 보여준다.

4. 시험 결과

시험결과 에너지저장장치 동작시 변전소 소비전력은 4,313.85kWh이고 정지시 변전소 소비전력은 5,633.57kWh이다. 따라서 에너지 절감율은 23.4%로 측정되었다.

〈표 3〉 에너지절감을 시험 결과

		전력량[kWh]
변전소 측 공급(ESS off)	A	5633.57
변전소 측 공급(ESS on)	B	4313.85
절감율[%]	$= (A-B)/A \times 100$	
		23.4



〈그림 2〉 전력량 측정 개소

3. 시험 조건

3.1 에너지 저장시스템 동작조건

에너지 저장장치는 가선전압을 검출하여 전동차 회생 시 가선전압이 상승되면 충전동작을 하고, 전동차 역행 등으로 가선전압이 낮아지면 방전동작을 수행한다.

가) 에너지 저장장치가 없는 경우, 임의의 차량이 회생을 하고 동시에 다른 차량이 역행하는 경우 회생에너지를 역행 차량이 사용을 하게 된다.

나) 에너지 저장장치가 있는 경우, 임의의 차량이 회생을 하고, 동시에 동일 공급 구간 내에 다른 차량이 역행할 시에는 가선전압이 상승하지 않고 일정하게 유지되므로 에너지 저장장치는 동작을 하지 않게 되어 에너지 저장장치가 없는 경우와 같게 된다.

다) 에너지 저장장치가 있는 경우, 회생 차량과 동시에 다른 차량이 역행할 때, 필요로 하는 에너지 보다 초과하여 회생에너지가 발생하면 역행 차량에 필요한 에너지만큼만 공급되고, 초과 회생 에너지는 에너지저장장치에 저장된다.

에너지 저장시스템의 효율성을 검증하기 위하여 다음과 같은 조건으로 시험한다.

가) 변전소 운전 조건 : DC 1500 [V] 전력계통 운영
전력공급 조건 : 변전소 전 구간 병렬급전(평시운행) / 관암, 대동, 오룡 측정

나) ESS 운전조건 : 충, 방전 전류제한 값 200 [A] 기준

3.2 시험 일시

가) 측정시험 및 데이터수집 기록 일자: 2010년 5월 31일

나) 측정설비 및 수집데이터 확인 일자: 2010년 6월 4일

3.3 측정 방법

에너지 저장시스템의 가동 시 각 소비전력량을 DC 전력 계측기를 통하여 기록하고, 매시간 대별 변전소 공급전력량과 ESS 공급전력량을 산출한다. 산출된 전력량을 근거로 일일 변전소 공급전력량과 ESS공급전력량을 계산하여 에너지 절감률을 확인한다.



변전소 급전장치 외형사진



에너지 저장시스템 외형사진

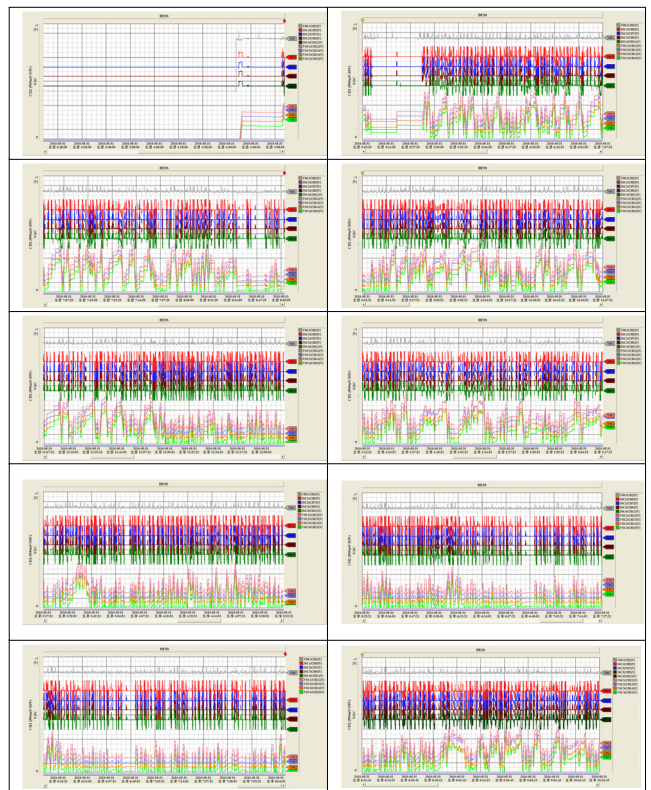


전압센서 설치



전류센서 설치

〈그림 3〉 측정 장치 설치사진(변전소)



〈그림 4〉 전류 전압 측정 파형

3. 결 론

본 논문은 개발된 에너지저장시스템을 대전도시철도 대동변전소에 설치하고 이에 따른 변전소 소비전력 절감율을 측정·분석에 관한 것이다. 시험결과 에너지저장장치 동작시 변전소 소비전력은 4,313.85kWh이고 정지시 변전소 소비전력은 5,633.57kWh이다. 에너지 절감율은 23.4%로 좋은 결과를 얻었다. 이번 시험결과를 통해 에너지저장시스템을 전체 도시철도 운영기관에 설치한다면 국가적으로 연간 수백억원의 전기요금 절감할 수가 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이한민, 김길동, 안천현, 김영규, 김태석, “도시철도용 에너지저장시스템 에너지 절감을 현장시험”, 2009 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2009
- [2] Hanmin Lee, Euijin Jeong, Sehchan Oh, “A study on calculation of DC railway loadflow with energy storage system”, ICCAS 2010.
- [3] Hanmin Lee, Gildong Kim, Changmu Lee, Sehchan Oh, “Application of energy storage system for SeoulMetro line 2,3,4” ICEE 2010