

도시철도용 에너지저장시스템 에너지 절감을 현장시험 Field Test of Energy Storage System on Urban Transit System

이한민†, 김길동‡, 안천현*, 김 영규**, 김태석***
Hanmin Lee, Gildong Kim, Cheonheon An, Younggyu Kim, Taeseok Kim

ABSTRACT

The electric railway is a clean and energy saving system, because it requires relatively less energy than automobiles by transporting the same passengers or goods. Six thousands of vehicles are operated on Korean urban transit system. This system is 95% of regeneration system. Especially, the VVVF-Inverter vehicle has a merit of the highest regeneration rate. Energy consumption is 90% for traction and 10% for auxiliary supply. Braking energy is about 40% of energy consumption. Up to 40% of the tractive power of vehicles capable of returning energy to the power supply can be regenerated during braking and that this energy can be used to feed vehicles which are accelerating at the same time. The energy generated by braking vehicle would simply be converted into waste heat by its braking resistors if no other vehicle is accelerating at exactly the same time. Such synchronized braking and accelerating can not be coordinated, the ESS(energy storage system) stores the energy generated during braking and discharges it again when a vehicle accelerates.

This paper presents field tests about the energy saving rate of the developed 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.

1. 서론

전기철도는 상대적으로 승객과 상품을 수송하는 자동차 보다 에너지를 덜 소비하기 때문에 청정 에너지 절감 시스템이다. 6000량의 차량이 한국 도시철도시스템에서 운행되고 있다. 이 시스템은 95%의 회생시스템이다. 특히, VVVF 인버터 차량은 가장 큰 회생율의 장점을 갖는다. 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. 그리고 이 에너지는 동시에 역행을 하는 차량에 공급되도록 사용될 수 있다. 만약 동시에 역행하는 차량이 없다면, 제동하는 차량에 의해 발생된 에너지는 간단히 저항기에 의해 소비 열로서 변환된다. 에너지 저장시스템은 제동시 발생된 에너지를 저장하고 차량이 역행할 때 다시 에너지를 방전한다. 에너지저장시스템은 도시철도시스템에서 에너지 회생을 위해 최적 조건을 만들 수 있다. 본 논문은 개발된 에너지저장시스템을 경산 경량전철시험선에 설치하고 이에 따른 변전소 소비전력 절감율을 측정·분석에 관한 것이다.

2. 측정 방안

에너지저장장치는 도시철도시스템과 동일한 조건을 갖춘 경산 경량전철 시험선에서 측정한다.

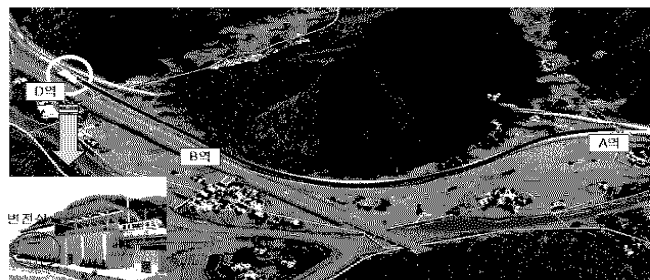


그림 2.1 경산 경량전철 시험선

에너지저장장치는 가선과 병렬로 접속되어 운행되기 때문에 가선의 선로 조건과 부하로 동작하는 차량의 조건에 대하여 정의한다. 그림 2.2는 전체 시스템 구성도를 보인다.

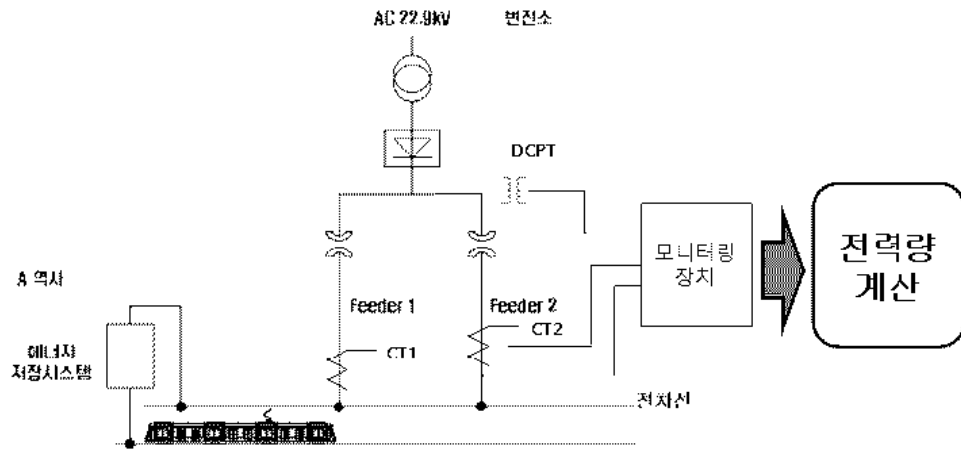


그림 2.2 시스템 구성도

2.1 변전소 조건

급전 시스템은 AC22.9kV의 한전 전력을 입력으로 변압기를 통하여 강압한 후 12-펄스 정류기를 통해 DC 전력을 공급하는 직류 시스템으로 그림 2.2와 같다. DC 전력을 공급하는 Feeder는 Feeder1과 Feeder2가 병렬 접속된 구조로 전동차에 DC 전력을 공급한다.

2.2 차량 조건

경산 시험선에 운행중인 6량 1편성 전동차의 제원은 표 2.1과 같다.

표.2.1 전동차 및 선로 사양

항 목		사 양
전동차 편성	6량1편성	고정편성
	편성구성	MC1-M1-M2-M3-M4-MC2
전동차 중량	공차	11.5 ton/량
	만차	18.0 ton/량
선로조건	선로길이	1,230m (그림2.3 참조)
	사양최대구배	5.8%
공급전원	가선전압	DC 750V (변동범위 : 500V ~ 900V)
	급전방식	제3궤조 방식
전동차 성능	운행최고속도	60km/h (설계사양 70km/h 이상)
	가속도	3.5km/h/s
	감속도	3.5km/h/s (상용), 4.5km/h/s (비상)
	저크한계	0.8m/s ³ 이하
	정격출력(연속)	660kW(110kW 모터 6개)

2.3 선로 조건

경산 시험선의 전동차가 운행될 A-B 역사의 선로 조건은 그림 2.3과 같다. 전체 길이 1,230m에 최대 구배 9 [%]로 정의된다.

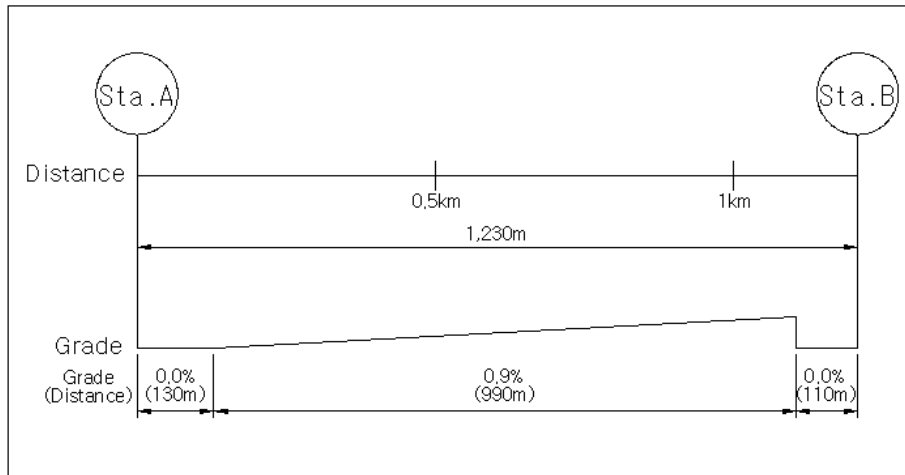


그림 2.3 A-B 역사간 선로조건

2.4 에너지저장장치 사양

에너지저장장치 기본 사양은 표2.2와 같다.

표2.2 에너지 저장장치 사양

구	분	세부항목	규	격
슈퍼 캐패시터	구	중량	2,100Kg	
		조	크기	
	전기적 특성	최대전압	583.6 V	
		최대전류	1,500 A	
		캐패시티	82.5 F	
		총 용량	14 MJ	
내부저항	89.25 mΩ			
효	구	크기	1.69M(H) X 1.2M(W) X 1.54M (D)	
		조	충전전압	800 V
	가	방전전압	730 V	
		속	최대전류	750 A
	슈퍼캐패시터	전압	280 V ~ 560 V	
		최대전류	1,500 A	
고속차단기	구	크기	500mm X 170mm X 540mm	
		정격전압	1,500V	
		정격전류	1,000A	
		차단전류	1,000A ~ 1,800A	
방전저항	구	저항	10 Ω	
		조	최대전류	56A

3. 소비전력 및 회생전력 측정

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. 따라서 전동차에만 공급되는 정류기

2차측 DC 전차선의 전압 및 전류를 측정한다.

에너지저장장치의 설치로 인한 에너지 절감효과를 측정하기 위하여 변전소의 DC 전차선측에 전압 및 전류 센서를 설치하여 에너지 저장장치의 기동/정지시의 소비전력을 측정한다. 측정개소는 그림 2.2와 같이 Feeder1, Feeder2의 전류(CT1, CT2), DCPT 전압의 3개소로 한다.

3.1 운행 및 측정조건

에너지저장장치의 효율성을 검증하기 위하여 다음과 같은 조건으로 시험한다.

- 1) 에너지저장장치 동작시 : A역 ↔ B역 왕복
- 2) 에너지저장장치 정지시 : A역 ↔ B역 왕복

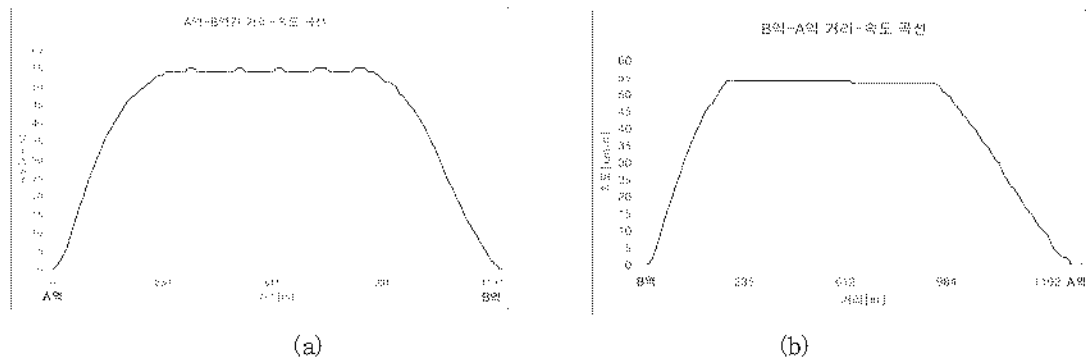


그림 3.1 A-B 역간 운행패턴

3.2 측정 절차

1) 측정 전 사전 조치

- 가) DC 구간의 전력량을 측정할 수 있는 계측기와 센서를 변전소에 설치한다. 즉, Feeder1, Feeder2에 전류 측정을 위해 CT1, CT2를, 전압 측정을 위해 DCPT를 연결한다.
- 나) 부하로 동작하는 전동차는 전원을 차단하고 변전소의 DC 전원을 가압한다. 이때 DC 전원의 전력을 공급받는 부하가 없음을 확인한다.
- 다) 전동차는 DC 전원을 공급받아 이동하여 A 역사에 위치시킨다.

2) 에너지저장장치 동작시 측정

- 가) 에너지저장장치를 동작 시킨다
- 나) 전동차를 A역에서 B역으로 그림 3.1(a)의 운행패턴으로 운행한다. B역에 정차 후 B역에서 A역으로 그림 3.1(b)의 운행패턴으로 운행한다.
- 다) 위 나)항과 같은 운전 패턴으로 A-B 역사간 이동하여 변전소의 소비전력을 측정한다.

3) 에너지저장장치 정지시 측정

- 가) 에너지저장장치를 동작시킨다
- 나) 전동차를 A역에서 B역으로 그림 3.1(a)의 운행패턴으로 운행한다. B역에 정차 후 B역에서 A역으로 그림 3.1(b)의 운행패턴으로 운행한다.
- 다) 위 나)항과 같은 운전 패턴으로 A-B 역사간 이동하여 변전소의 소비전력을 측정한다.

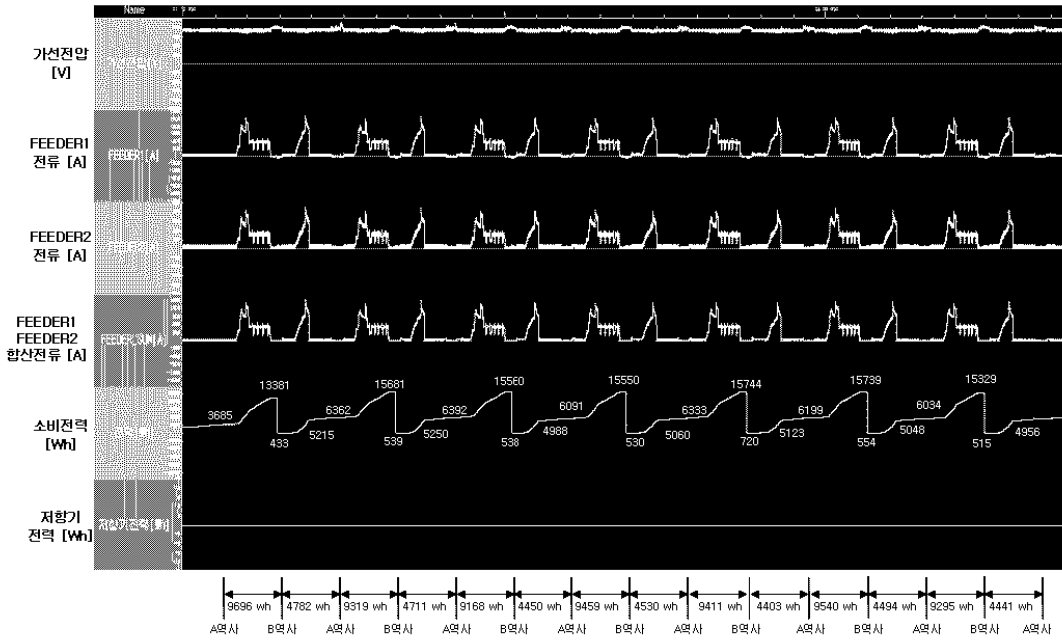
4) 측정된 데이터의 평균값을 취하여 소비 전력을 산출한다.

4. 에너지절감율 시험 및 결과

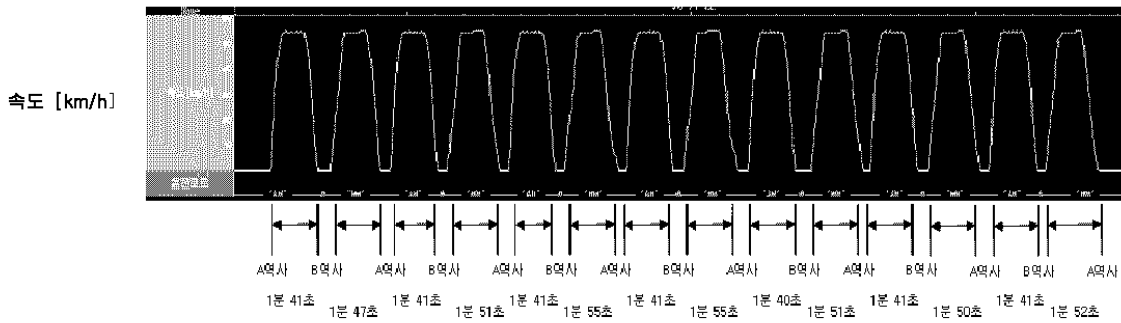
에너지절감율 시험은 한국에너지기술연구원으로부터 공식적으로 수행이 되었다.

4.1 측정시험 결과

- 에너지저장장치 동작 시 (에너지저장장치 ON)
 - 변전소 소비전력 측정파형 (에너지저장장치 ON)



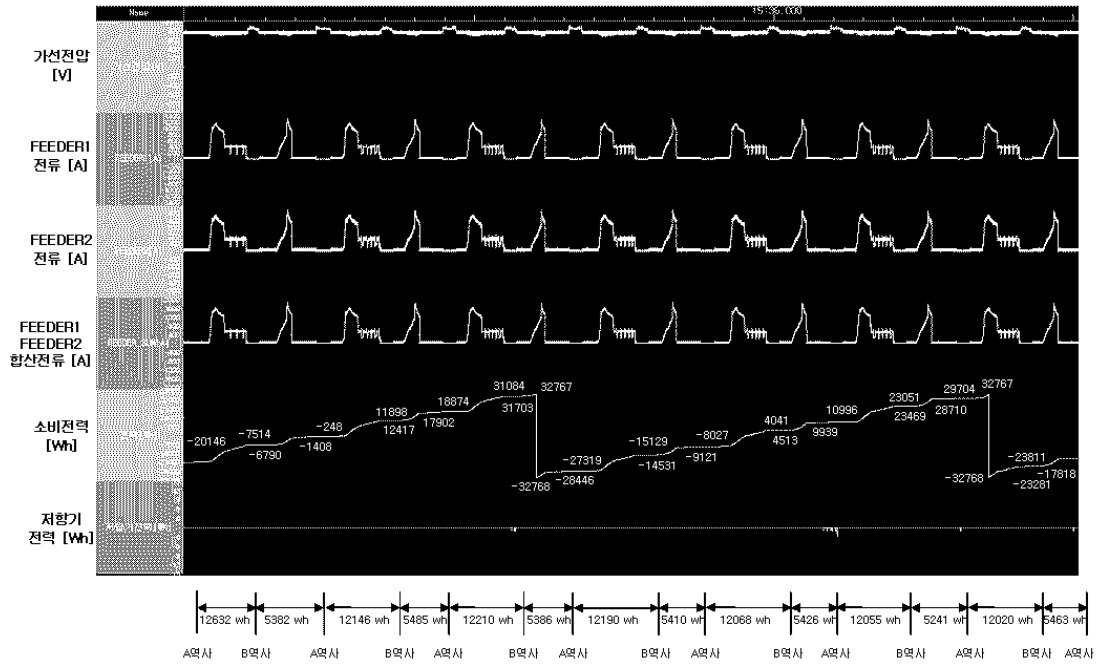
- 운행 패턴 곡선 (에너지저장장치 ON)



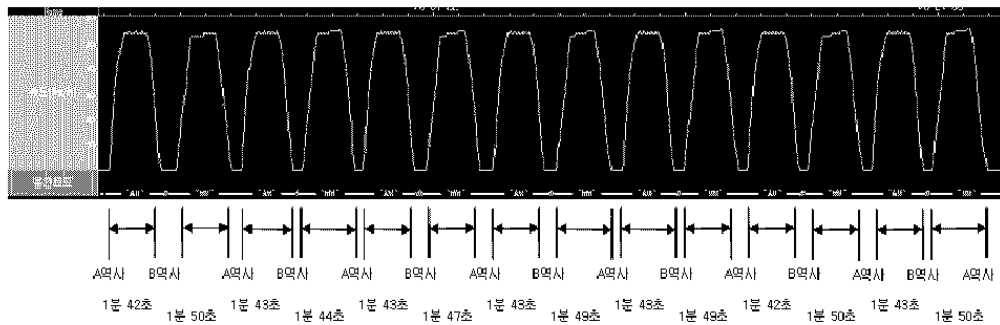
구분	1차 왕복	2차 왕복	3차 왕복	4차 왕복	5차 왕복	6차 왕복	7차 왕복	평균값(A)
변전소 소비전력[Wh]	14478	14030	13618	13989	13814	14034	13736	13957

구분	1차 왕복	2차 왕복	3차 왕복	4차 왕복	5차 왕복	6차 왕복	7차 왕복	평균값(T)
운행시간[sec]	208	212	216	216	211	211	213	212.4

- 에너지저장장치 정지 시 (에너지저장장치 OFF)
 - 변전소 소비전력 측정과형 (에너지저장장치 OFF)



- 운행 패턴 곡선 (에너지저장장치 OFF)



구분	1차 왕복	2차 왕복	3차 왕복	4차 왕복	5차 왕복	6차 왕복	7차 왕복	평균값(B)
변전소 소비전력[Wh]	18014	17631	17596	17600	17494	17296	17483	17588

구분	1차 왕복	2차 왕복	3차 왕복	4차 왕복	5차 왕복	6차 왕복	7차 왕복	평균값(T)
운행시간[sec]	212	207	210	212	212	212	213	211.1

○ 에너지 절감율

시험결과 에너지저장장치 동작시 변전소 소비전력은 13,957Wh이고 정지시 변전소 소비전력은 17,588Wh이다. 따라서 에너지 절감율은 20.64%로 측정되었다.

구분	소비전력 [Wh]		에너지 절감량 [Wh]	에너지 절감율 [%]
	에너지저장시스템 동작 시(A)	에너지저장시스템 정지 시(B)		
6량 1편성 경량전철 시험선로(A-B구간) 왕복 운행 7회 측정 평균	13,975	17,588	3,631	20.64 %

5. 결론

본 논문은 개발된 에너지저장시스템을 경산 경량전철시험선에 설치하고 이에 따른 변전소 소비전력 절감율을 측정·분석에 관한 것이다. 시험결과 에너지저장장치 동작시 변전소 소비전력은 13,975Wh이고 정지시 변전소 소비전력은 17,588Wh이다. 에너지 절감율은 20.64%로 좋은 결과를 얻었다. 현재 서울메트로 2호선 한 노선만 해도 한해 전동차 전기사용량 요금이 220억(2007년) 이상이다. 따라서 이번 시험 결과를 통해 에너지저장시스템을 전체 도시철도 운영기관에 설치한다면 국가적으로 연간 수백억원의 전기요금을 절감할 수가 있다. 따라서 에너지저장시스템은 고유가 시대에 도시철도 운영기관의 에너지 절감을 위한 가장 현실적인 대응방안으로서 국가 발전에 기여할 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hanmin Lee, Gildong Kim, Changmu Lee, "Development of ESS for Regenerative Energy of Electric Vehicle", WCRR 2009
- [2] Hanmin Lee, Gildong Kim, Sehchan Oh, Wootae Jeong, "A Study on Effects of Energy Saving by applying Energy Storage System", ICEE 2009
- [3] Hanmin Lee, Sehchan Oh, Changmu Lee, Gildong Kim, "Factory test for Development of Energy Storage System", International Conference on Control, Automation and Systems 2008
- [4] 한국철도기술연구원, "에너지저장시스템 기술개발 3차년도 보고서", 2008. 10