

직류급전시스템의 회생량 예측 및 회생용 인버터 설치 위치 검토

Prediction of regenerative energy and examination of install location of regenerative inverter for DC railway system

장동욱* 배창한** 정상기* 한문섭* 김용기***
Jang, Dong-Uk* Bae, Chang-Han** Jung, Sang-Ki* Han, Mun-Seob* Kim, Yong-Ki***

ABSTRACT

In this paper, the power simulation is used for the prediction of regenerative energy and examination of install location of regenerative inverter for DC railway system. The power simulation was composed to train performance simulation(TPS) and power flow simulation. We performed the power simulation for Seoul subway line 5 and 7, calculation of regenerative energy and examination of substations where regenerative inverter is installed.

1. 서론

현재 국내 다이오드 정류기를 사용하는 직류급전시스템의 경우, 거의 대부분 3상 22.9 kV를 수전 받아 12펄스 다이오드 정류기를 통하여 DC 1,500 V로 변환시켜 전동차에 전력을 공급하고 있다. 전동차의 제동 및 하구배 주행시에 회생제동에 의한 회생전력은 우선 차량내부(SIV)에서 소모하고, 급전 구간내의 다른 역행하는 전동차에서 소모된다. 만약 변전소 구간내에 역행 차량에 의해서 회생에너지가 전부 소비되지 않으면, 현 시스템에 있어서는, 가선전압상승을 차량에서 검지하여 차량의 제동저항에 의해서 열로 소비시키게 된다. 회생용 인버터는 열로 소비시키는 회생에너지의 잉여분을 다시 사용할 수 있도록 해주는 장치이다. 이렇게 회생용 인버터를 사용하게 되면 회생제동을 최대한 활용할 수 있기 때문에, 기계적 제동의 사용이 줄어들어 브레이크슈의 교체주기를 늘릴 수 있다.

본 논문에서는 직류급전 시스템에서 소비되는 회생 에너지량을 예측하고, 회생인버터의 설치에 적합한 변전소 위치를 결정하기 위해서 직류급전시물레이터를 이용하였다. 서울지하철 5호선 및 7호선의 선로데이터, 차량데이터, 변전소 데이터 및 선로데이터를 적용하여 TPS 및 전력시물레이션을 실시하고, 회생전력 발생량을 계산하여 회생용 인버터의 설치 변전소와 회생량을 예측하였다.

2. 본론

본 논문에서 사용한 시물레이션은 열차주행시물레이션(TPS)과 전력시물레이션으로 구성이 되어 있으며, 우선 TPS를 통하여 차량운행곡선을 얻은 후에 전력시물레이션의 입력데이터로 활용하고, 변전소, 차량운행조건을 반영하여 전력시물레이션을 실시하였다.

* 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부, 정회원

E-mail : dujang@krri.re.kr

TEL : (031)460-5412 FAX : (031)460-5459

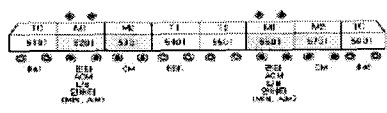
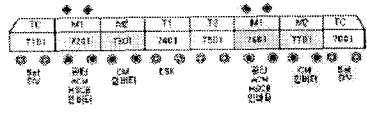
** 한국철도기술연구원, 바이오달수송시스템연구단

*** 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부

2.1 TPS

TPS는 다양한 조건에서의 열차운행을 컴퓨터를 이용하여 짧은 시간내에 계산함으로써 여러 가지 운행형태로 운행한 결과를 쉽게 얻을 수 있다. 차량 1편성이 대상노선을 1회 왕복하는 시뮬레이션을 실시하는 것이다. TPS를 실시하기 위한 차량 입력 데이터는 표 1과 같고, 5호선 및 7호선 구간의 곡선, 구배, 역위치가 TPS의 입력데이터로 사용된다. TPS의 결과로 차량 1편성이 구간을 왕복한 결과에 대한 차량운행곡선(차량에서 소비하는 전력, 전압, 전류)을 얻을 수 있고, 그림 1과 2는 TPS로부터 얻어진 결과이다.

표 1 TPS 차량 입력 데이터

항 목	5호선	7호선
차량편성 총질량 (8량, 만차기준)	425.6[ton] Tc: 30.9, M1: 38.5, M2: 34.6, T: 28.8, 승객: 20 ton/량	430[ton] Tc: 32.5, M1: 36.7, M2: 36.8, T: 29, 승객: 20 ton/량
차량 편성		
가속도	3[km/h/s]	
감속도	-3.5[km/h/s]	
보조동력	168[kW] x 2	
최고속도	100[km/h]	

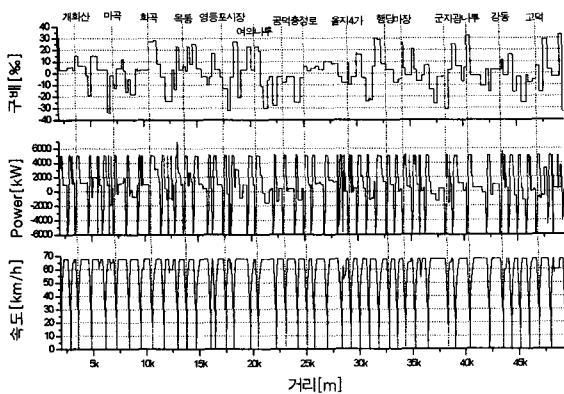


그림 1. 5호선 TPS결과

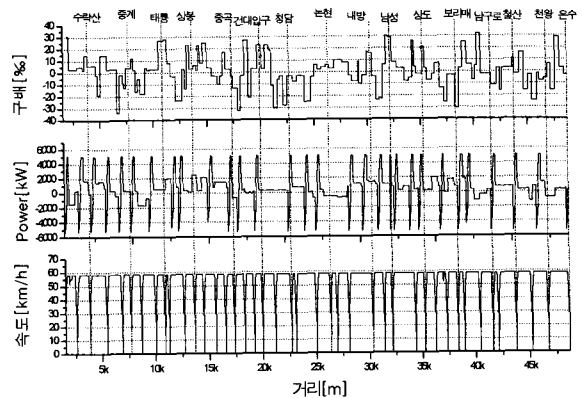


그림 2. 7호선 TPS결과

표 2는 TPS결과를 정리한 것으로 각 호선에 대한 총주행거리, 주행시간, 표정속도, 역행 에너지, 회생에너지 량을 정리하였다. TPS의 결과는 전력시뮬레이션의 입력데이터로 활용된다.

표 2 5호선 및 7호선 TPS결과 정리

노선	5호선	7호선
총 주행거리[m]	94776	94190
총 주행시간[s]	9708.75	9730.69
표정속도[km/h]	35.14	34.85
역행 에너지[kwh]	3168.3	2331.2
총 회생에너지[kwh]	1773.0	1229.8
총 보조에너지[kwh]	911.8	913.8

2.2 전력시뮬레이션

2.1절의 TPS결과, 변전소 파라미터, 선로데이터, 열차 운행조건을 가지고 전력시뮬레이션을 실시하였다. 전력시뮬레이션은 전기철도시스템의 차량의 운행에 따른 변전소의 전력상황을 모의할 수 있기 때문에 전기철도 변전소의 설계 자료에 활용되고 있다.

차량이 운행되는 동안에 발생하는 회생에너지를 계산하기 위해서, 운행시격 및 정차시간과 같은 차량운행조건을 반영하여 전력시뮬레이션을 실시하였다. 표 3은 전력시뮬레이션에 사용된 변전소, 차량운행조건을 나타내고 있다.

표 3 전력시뮬레이션 입력조건

차량운행조건	운행시격	180[s], 300[s], 360[s]
	역정차시간	30[s]
	교행시차	30[s]
변전소 조건	전철변전소 내부저항	0.02949[Ω]
	변전소에서 전차선까지 저항	0.0007[Ω]
	최대허용 전압	1,800[V]
	공칭전압	1,500[V]
	무부하전압	1,620[V]
시뮬레이션 조건	시뮬레이션시간	3600[s]
	샘플링시간	1[s]
	허용오차	0.0005[p.u.]

전력시뮬레이션은 열차운행시격은 열차운행 계획표를 참고하여 실시하였으며, 각 변전소별 회수전력량 검토, 회생용 인버터 용량에 따른 회수전력량 검토하였다.

그림 3은 각 운전시격에 대해서 모든 변전소에 회생인버터가 설치되었을 경우에 대해서, 1일 운행 시간을 고려하여 변전소로 회수되는 회생전력량은 계산한 결과이다. 표에서 볼 수 있듯이 개화산변전소, 고덕변전소, 영등포시장변전소, 화곡변전소 순으로 회생전력량이 많이 나온 것으로 계산되었다.

그림 4는 7호선에 대한 1일 회수전력량 결과이며, 수락산, 남구로, 중계, 철산 순으로 회생전력량이

하여 1일 동안 전동차가 운행할 경우 회수전력량을 각각 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 5호선 전동차 운행시간을 고려한 1일 회수전력량 결과이며, 화곡변전소에서 약 9,000[kWh/일]로 계산되었다.

그림 8은 7호선의 변전소 위치에 따른 1일 회수전력량으로 수락산 변전소가 약 7,100[kWh/일]로 계산되었다.

회생인버터 용량에 따른 1일 회수전력량을 회생용 인버터 용량에 따라서 계산한 결과를 그림 9, 10에 각각 나타내었다.

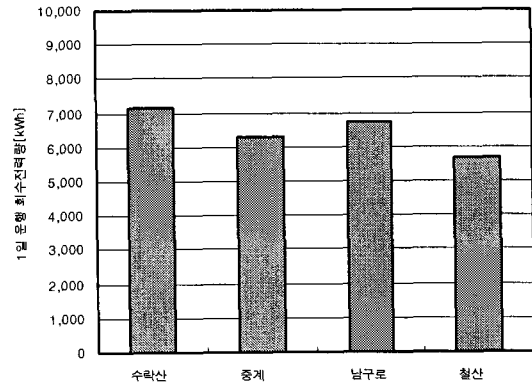
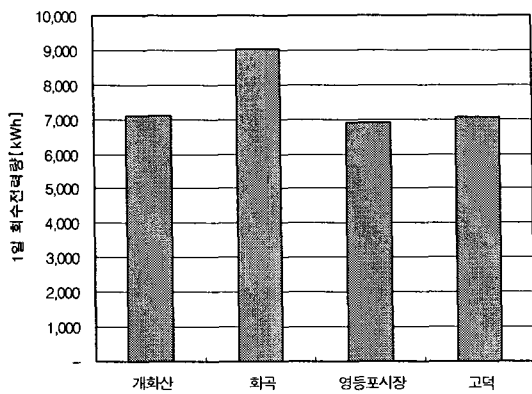


그림 7. 변전소에 따른 1일 회수전력량(5호선) 그림 8. 변전소에 따른 1일 회수전력량(5호선)

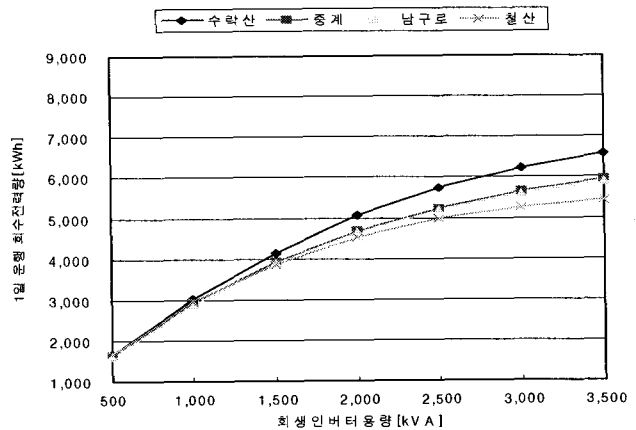
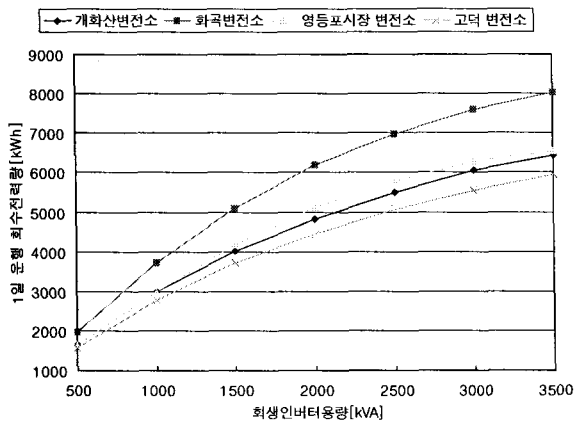


그림 9. 회생용 인버터 용량에 따른 1일 회수전력량(5호선)

그림 10. 회생용 인버터 용량에 따른 1일 회수전력량(5호선)

그림 9와 10의 결과로부터 1,500[kVA]회생인버터 설치시 하였을 경우 1년간 운행시 회수 가능한 전력요금이 그림 11과 같이 계산되었다. 5호선의 경우 화곡변전소에 설치시 약 1억 3천만원/년의 전력요금이 예상되면, 7호선의 경우 수락산 변전소에 설치시 약 1억5백만원/년의 전력요금이 절약되는 것으로 예측되었다.

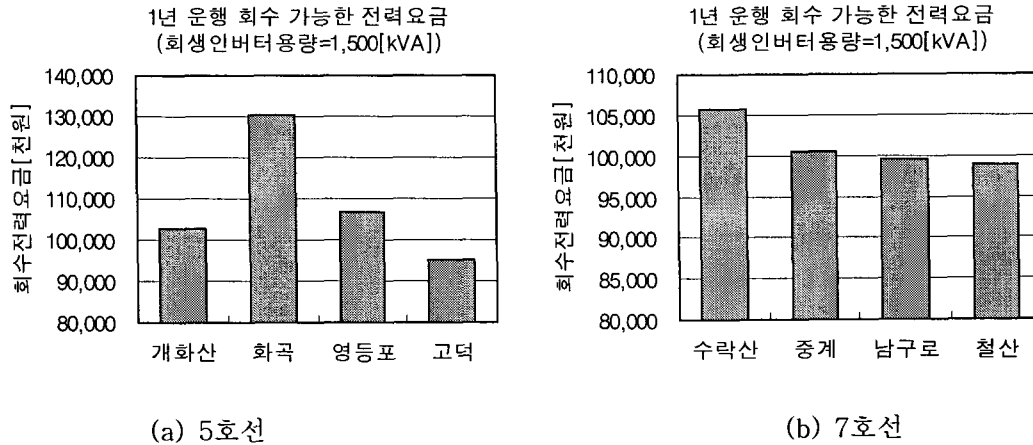


그림 11. 1,500[kVA]회생용 인버터 설치시 회수 가능한 전력요금

3. 결론

본 논문은 회생용 인버터 설치를 위해서, 전력시뮬레이션을 통하여 회수 전력량을 예측하였으며, 회생용 인버터 설치위치를 검토하였다. 전력시뮬레이션을 실시하기 위해서 대상노선의 차량 데이터, 변전소 데이터, 선로데이터를 입력으로 하였다. 시뮬레이션 결과 전력 회수량이 가장 큰 변전소는 수락산 변전소와 화곡 변전소로 선정 되었다. 이 변전소에 1,500[kVA] 회생용 인버터를 설치했을 경우, 5호선의 경우 화곡변전소에 설치시 약 1억 3천만원/년의 전력요금이 예상되면, 7호선의 경우 수락산 변전소에 설치시 약 1억5백만원/년의 전력요금이 절약되는 것으로 예측되었다.

참고문헌

1. 배창한, 한문섭, 김용기, 권삼영, 박현준(2006년), “직류 1500V 전기철도용 변전소의 회생인버터 용량 및 설치위치 선정방법”, 대한전기학회논문집, Vol. 55B, No. 9, pp.478-484
2. “차세대 전철시스템 에너지회생장치 개발(3차년도,2006년),” 한국철도기술연구원
3. 전철직류급전 시스템 조사위원회(1989년), “회생차를 포함한 급전시스템의 현상과 앞으로의 방향”, 일본전기학회기술보고 제296호.
4. 김성길(2005년), “도시철도기술자료집(7) 전기”, 서울특별시 지하철건설본부 도시철도기술자료집.
5. 정상기, 홍재승(2000년), “도시철도의 DC 급전시스템 해석 알고리즘”, 대한철도학회 춘계학술대회 논문집 pp. 77-85.