

DC 급전시뮬레이션을 통한 도시철도 회생에너지 활용 분석

Analysis of Utilizing Regenerative Energy in Railway System through a DC Power Supply Simulation

신 승 권^{*} · 정 호 성^{*} · 김 형 철^{*} · 박 종 영^{*}

(Seungkwon Shin · Hosung Jung · Hyungchul Kim · Jongyoung Park)

Abstract - This paper deals with regenerative energy in railway system which one of the largest customer in terms of load capability. Unlike the other loads of power system, loads of railway systems change in time and space. It has a characteristic amount of generating regenerative energy by frequent starting and braking in railway system. Therefore, it is expected higher utilization in railway system than the other systems. The purpose of DC power supply simulation is analyzing backed energy, regenerative energy by each railway vehicle and substation. In this paper, regenerative energy utilization are analyzed using DC power supply simulation and it is performed changing major influence on the design such as the number of installing absorber, internal resistance value, no-load voltage value at substation or operating parameters at regenerative energy utilization. After simulating, results are compared and analyzed.

Key Words : Regenerative energy, DC power supply simulation, Load capability, Railway substation

1. 서 론

도시철도 급전시스템은 한국전력의 변전소로부터 도시철도 전용 선로를 통하여 AC 3상 22.9[kV] 송전선로를 구성하여 무정전 상태를 유지하도록 하고 있다[1].

회생에너지는 전동차가 제동시 순간적으로 발생하는 전기 에너지를 저장하고 필요시 저장된 에너지를 재활용하여 에너지를 절감하기 위한 전동차 탑재용 에너지저장장치 기술이다. 현재 우리나라의 도시철도의 경우, 회생되는 전력을 별도의 에너지저장장치(ESS)에 저장한 후, 다시 전차선에 공급하는 방식을 서울지하철 7호선 연장구간에 시범적으로 설치, 운영하여 월간 약 5만 1,500[kWh] 정도의 절약효과가 나타났다. 이처럼 회생 에너지를 효율적으로 활용하기 위한 많은 방안들이 연구되고 있다[2].

도시철도 변전소에서는 전차선용 전력을 위해 정류기용 변압기(SRTR : Silicon Rectifier Transformer)로 1,200[V]로 강압시키고 실리콘 정류기 등에 의해 DC 1,500[V] 또는 750[V]로 변성한 후, 전차선 설비를 통하여 전동차에 급전하고 있다. DC 급전시스템의 특징은 AC 급전시스템에 비해 전압이 낮아 절연계급을 낮출 수 있고 통신유도장해가 없으며, 경량 단거리 수송에는 유리하나 운전전류가 커서 누설전류에 의한 전식 대책이 필요하다는 단점을 가지고 있다.

도시철도 시스템은 부하 용량 측면에서 가장 큰 수용가 중 하나로, 차량의 잦은 기동과 제동으로 발생하는 회생에너

지로 인해 효율 개선에 의한 효과가 가장 클 것으로 예상되는 전력 시스템 중의 하나이다. 도시철도 시스템은 전력시스템의 다른 부하와 달리, 부하의 시공간적 변화가 있으며, 기동을 위하여 많은 순시전력을 필요로 하지만 철도차량의 기계적 관성으로 인하여 고속 운전 시에는 오히려 전력을 거의 소모하지 않고, 특히 제동 시에 발생하는 회생전력이 상당히 크다는 특성을 가지고 있다. 이에 따라 에너지 저장장치 또는 회생인버터 등 회생에너지 이용률 향상을 위한 다양한 연구가 진행 되고 있다[3].

본 논문에서는 DC 급전시뮬레이션의 목적과 수행방법을 제시하고, DC 급전시뮬레이션을 통해 회생에너지 활용에 영향을 미치는 주요 설계 혹은 운영변수들을 변화시켜가며 이 변수들의 변경이 회생에너지 활용에 어떠한 영향을 미치는가를 분석한다.

2. 도시철도 DC 급전시뮬레이션

DC 급전시뮬레이션의 목적은 일반적인 도시철도 노선에서 차량별 역행에너지, 회생에너지, 변전소별 역행에너지, 회생에너지를 분석함에 있다. 수행 방법은 일반적인 DC 급전시뮬레이션 수행 방법을 제시하고, 국내 도시철도 노선과 유사한 시험 노선을 선정하여 DC 급전시뮬레이션을 수행한다.

시험노선에 대하여 DC 급전시뮬레이션을 수행하기에 앞서 DC 시뮬레이션 동작 개요에 대해 설명한다. 그림 1에서와 같이 급전시뮬레이션은 크게 TPS(Train Performance Simulation)과 급전시뮬레이션 부분으로 나뉜다.

TPS는 여러 가지 목적이 있지만 급전시뮬레이션과 관련하여서는 단일 편성의 차량이 주어진 노선을 어떤 주행곡선을 그리며 주행하는가에 대한 해답을 구할 수 있다. 다시

* Korea Railroad Research Institute

[†] Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute
Senior Researcher

E-mail : skshin@krri.re.kr

Received : September 01, 2014; Accepted : September 23, 2014

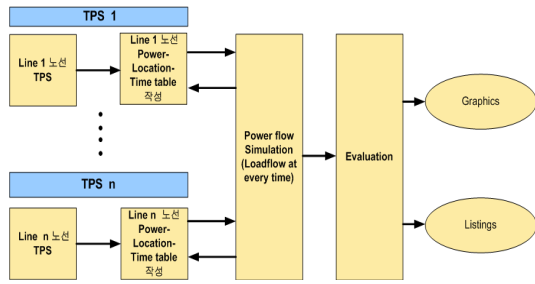


그림 1 DC급전시뮬레이션 수행도
Fig. 1 Process of DC power supply simulation

말해, 그림 1에서 TPS 결과로 그림 2의 차량 운전곡선과 표 1의 부하 테이블을 얻을 수 있다. 표 1의 부하 테이블은 다음 단계의 급전 시뮬레이션의 입력 자료가 되며, 만약 TPS 수행 없이 부하 테이블을 갖고 있다면, TPS 단계는 생략될 수 있다.

TPS는 DC 급전시뮬레이션과 관련하여 단일 편성의 차량이 주어진 노선을 주행할 경우, 차량 운전곡선과 부하 테이블을 제공해 준다. 그림 1에서 TPS가 여러 번 수행되는 것은 동일한 시스템 내에 여러 노선이 운영됨을 의미한다.

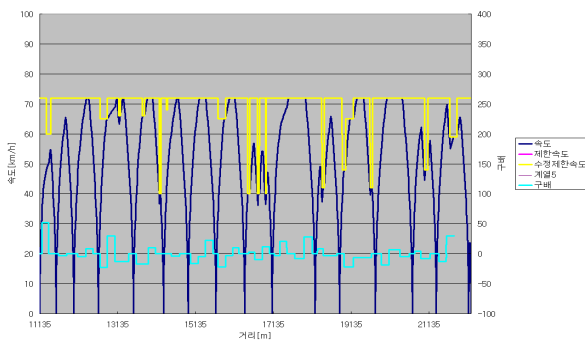


그림 2 TPS 수행 후 차량운전곡선 예
Fig. 2 Example of vehicle driving curve after TPS

표 1 TPS 수행 후 부하테이블 예
Table 1 Example of load table after TPS

Time[sec]	위치[m]	Power[kw]
0	0	11.3
1	2.28	34
2	4.56	56.8
3	6.85	79.7
4	9.13	102.6
5	11.41	125.6
6	13.69	148.7
7	15.98	171.9
8	18.26	195.2
9	20.54	218.6
10	22.82	242
11	25.11	265.6
12	27.39	289.2
13	29.67	312.9
14	31.95	336.7

DC 급전 시뮬레이션은 기본적으로 매 시간(본 논문에는 매 1초마다, 시뮬레이션 time step 조류해석(Load flow analysis)을 수행하고, 이 결과에 의해서 모든 차량 및 DC 급전 변전소의 전압이 계산되며, 전압 정보로부터 전류, 전력, 손실 등의 모든 필요 정보를 생성하였다.

2.1 시험 노선 및 시험차량 선정

시험노선은 101 정거장(1420[m])부터 109 정거장(23,448[m])까지 총 연장 22,028[m]이다. 그림 3은 역사 및 변전소 위치를 보여준다. 변전소는 총 6개(원 모양)이고 역사는 101번부터 109번까지 총 9개이다. 차량은 101번 역사로부터 109번 역사까지 왕복 운행된다. 표 2에서 각 역사의 명칭, 위치 및 역 정차시간을 나타낸다.

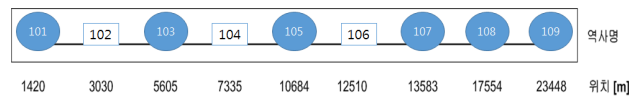


그림 3 시험 노선, 역사 및 변전소 위치
Fig. 3 Test routes, location of station and substation

표 2 역사 위치 및 정차시간

Table 2 Location of station and stop time

번호	Name	Location[m]	정차시간 [s]
1	101정거장	1420	0
2	102정거장	3030	20
3	103정거장	5605	20
4	104정거장	7335	20
5	105정거장	10684	20
6	106정거장	12510	20
7	107정거장	13583	20
8	108정거장	17554	20
9	109정거장	23448	20

시험 차량 데이터(1편성, 6 car 당) data 는 아래와 같다.

표 3 시험 차량 데이터

Table 3 Data of test vehicle

무게	199.5 [ton]
관성질량	10 %
가속도	3.96 [km/h/s]
감속도	4.32 [km/h/s]
보조 동력	390 [km/h/s]
추진 시스템 효율	88%
회생 제동시스템 효율	88%
최고속도	80 km/h
주행저항식	$R=1.867+0.0359v+0.000745v^2[kgf/ton]$

2.2 시험 노선 및 시험차량 선정

변전소의 위치 및 정류기 용량, 변전소 내부저항, 변전소와 전차선 사이의 연결 저항 등은 표 4과 같다. 표 4에서 정류기 용량은 부하의 크기를 고려하여 가정된 값이며, 변전소 내부저항은 변전소의 DC 750[V] bus에서 전압 변동율을

8%로 가정하여 계산된 값이다. 그리고 변전소의 무부하 전압 DC 750[V]는 변전소 운영 데이터로 가정된 값이다.

표 4 변전소 위치 및 특성

Table 4 Location and characteristics of substation

번호	이름	정류기 용량 [kw]	내부 저항 [Ω]	연결저항 [Ω]	무부하 전압 [V]
1	sub_101	2000	0.0225	0.0028	750
2	sub_103	2000	0.0225	0.0028	750
3	sub_105	2000	0.0225	0.0028	750
4	sub_107	2000	0.0225	0.0028	750
5	sub_108	2000	0.0225	0.0028	750
6	sub_109	2000	0.0225	0.0028	750

3. 직류도시철도 전력조류 해석 알고리즘

3.1 직류전력조류 해석 알고리즘

직류조류계산의 해석은 우선 DC전력 공급시스템의 각 국성요소를 등가회로로 표현하고 이 등가회로들로 구성된 노드 네트워크를 구성하여 각 노드의 전력조류계산을 위한 회로망 해석은 루프방정식의 해를 구함으로써 가능하다. 그림 4은 철도 전력시스템 회로망을 나타내었다. 그림 4에 대한 노드방정식은 식 (1)과 같다. 차량 양단에 걸리는 전압과 등가임피던스의 관계는 식 (2)와 같다.

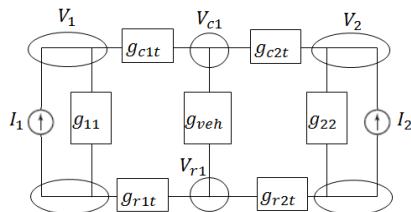


그림 4 변전소와 차량을 등가화한 회로

Fig. 4 Equivalent circuit of railway system

I_1 과 I_2 가 결정되어 있으므로, 반복계산법을 이용하여 각 노드의 전압의 해를 구할 수 있다. 그러나 반복계산 과정에서 G_{veh} 를 갱신하기 위하여 사용되는 식 (2)는 차량전압의 제공에 관계된 식이기 때문에, 수렴속도가 낮고 반복계산이 많아지게 하는 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 철도차량을 전류원으로 등가화하여 컨덕턴스 행렬과 전압 및 전류 행렬의 형태를 수정할 필요가 있다. 식 (3)의 관계식을 이용하여 식 (1)과 (2)는 식 (4)와 (5)로 개선된다. 노드방정식의 이러한 개선은, 반복계산 과정에서 I_{veh} 를 갱신할 때, 소비전력과 전압의 관계가 1차적인 관계이므로, 계산 초기과정에서 전압의 오차에 대하여 덜 민감하도록 한다. 이것은 반복계산의 수렴속도 증가와 반복계산 횟수 저감으로 인하여 계산량이 감소하는 효과로 나타난다. 또한 가선에 위치한 노드와 레일에 위치한 노드에 대한 행렬 구분이 가능하기 때문에 매 계산 시 전압행렬의 값을 구하는 계산 부담도 저감

된다[2].

$$\begin{bmatrix} g_{11} + g_{c1t} & 0 & g_{c1t} & 0 \\ 0 & g_{22} + g_{c2t} & -g_{c2t} & 0 \\ -g_{c1t} & -g_{c2t} & g_{c1t} + g_{c2t} - g_{veh} & -g_{veh} \\ 0 & 0 & -g_{veh} & g_{veh} + g_{r1t} + g_{r2t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, g_{veh} : 철도 차량 부하 등가 어드미턴스

g_{ii} : 노튼 등가 회로를 구성하였을 때, 변전소의 어드미턴스

g_{cit} : 차량과 변전소 사이의 가선 어드미턴스

g_{rit} : 차량과 변전소 사이의 레일 어드미턴스

V_i : 변전소 전압

V_{ci} : 차량의 가선 전압

V_{ri} : 차량의 레일 전압

I_i : 노튼 등가 회로를 구성하였을 때, 변전소의 등가 전류

$$g_{veh} = \frac{P_{veh1}}{(V_{c1} - V_{r1})^2} \quad (2)$$

여기서, P_{veh1} : 철도 차량 유효전력

$$g_{veh} (V_{c1} - V_{r1}) = I_{veh} \quad (3)$$

여기서, i_{veh} : 철도 차량 등가전류

$$\begin{bmatrix} g_{11} + g_{c1t} & 0 & -g_{c1t} & 0 \\ 0 & g_{22} + g_{c2t} & -g_{c2t} & 0 \\ -g_{c1t} & -g_{c2t} & g_{c1t} + g_{c2t} - g_{veh} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{veh} + g_{r1t} + g_{r2t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_{c1} \\ V_{r1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$I_{veh1} = \frac{P_{veh1}}{(V_{c1} - V_{r1})} \quad (5)$$

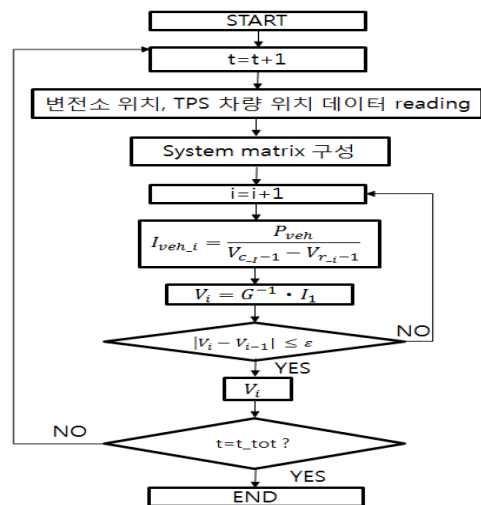


그림 5 철도 시스템 전력조류해석 알고리즘

Fig. 5 Power flow Flowchart of railway system

개발된 도시철도시스템 조류계산 알고리즘의 순서도는 그림 5에 나타내었다[3]. 그림 5의 알고리즘을 특정한 시간을 두고 상태가 반복되는 철도시스템의 특성에 기반을 두어 시격(headway)동안 1초마다 계산을 수행하도록 설계되어 있다. 매 초에 대한 계산을 수행하기 전에 TPS(Train Performance Simulator)에서 계산된 차량의 위치와 소비전력데이터를 입력으로 하여 고정된 변전소의 위치에 대한 철도차량의 위치를 결정한다. 차량의 위치는 차량-변전소 간, 차량-차량 간 거리에 기반을 둔 임피던스를 계산하여 컨덕턴스 행렬에 반영함으로써, 매초 차량의 이동을 조류계산에 반영하도록 설계하였다. 또한 차량의 운전모드와 현재 운전하고 있는 궤도의 구배, 경도에 따른 차량의 소비전력이 달라지는데, TPS로부터 계산된 매 초의 소비전력데이터를 반영함으로써 차량전압과 부하전류의 관계를 갱신하도록 알고리즘을 구성하였다.

3.2 차량 운전 시뮬레이션의 알고리즘

차량 운전시뮬레이션을 위한 알고리즘은 그림 6와 같다. TPS는 구배, 커브, 역간 거리 등의 파라미터를 입력 받고, 현재위치와 속도에서의 열차저항을 계산한 후 유효견인력을 구한다. 구해진 유효견인력과 열차의 동적 질량을 이용하여 현재 열차가 낼 수 있는 가속도를 구한다. 구해진 가속도는 최대가속도를 넘지 않는 범위 내에서 결정된다. 이때 가속도는 저크한계(저크한계란 열차가 운행할 때 가속도의 변화율을 제한하는 것)를 고려하기 위해 이전 가속도와 비교된다. 다음으로 제동모드를 결정하기 위해 계산된 현재속도와 진행거리를 이용하여 제동거리를 계산하고, 만약 제동거리가 다음 역까지 남은 거리보다 초과하게 되면 이전속도와 이전 열차위치를 이용하여 제동모드로 들어가서 제동 감속에 따른 속도와 위치가 계산된다.

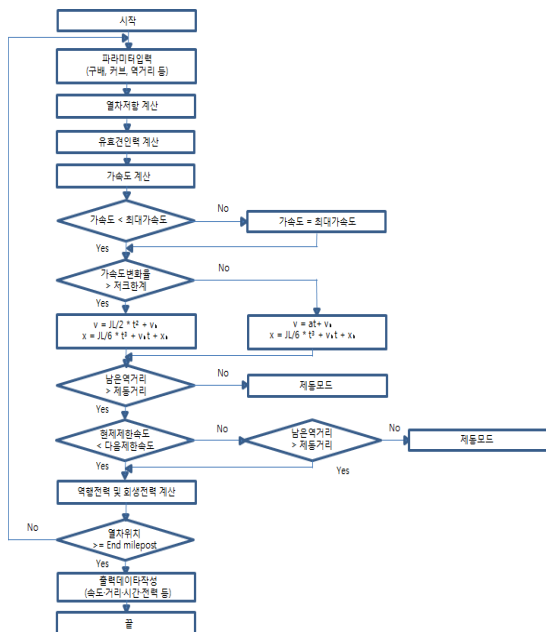


그림 6 차량 운전 시뮬레이션의 알고리즘
Fig. 6 Flowchart of vehicle driving simulation

열차저항을 계산하기 위해서는 현재 열차속도, 곡선구배, 상하구배, 열차의 질량 등의 값이 필요하며 이러한 값을 이용하여 주행저항, 곡선저항, 구배저항을 계산하여 열차저항을 계산한다. 현재 열차가 낼 수 있는 가속도를 구하기 위해서는 열차저항과 견인전동기의 견인력이 필요하다. 견인전동기의 견인력은 [kN]단위로 환산된 후 가속도를 구하는 식에 적용된다.

저크한계를 고려하기 위해 구해진 가속도는 이전가속도와 비교되어 가속도의 변화율에 따라 적절한 수식을 이용하여 구해진다. 필요한 에너지 정보를 구하기 위해 주어진 견인전동기 사양(전동기 역률, 효율, 전동기 개수 등)과 가선전압 등과 같은 데이터를 입력하고 주어진 수식에 대입한다.

4. 회생에너지 시뮬레이션 결과

DC 급전시뮬레이션은 첫 번째는 변전소의 회생에너지 흡수장치 설치 수에 따른 비교, 두 번째는 변전소의 내부저항 값에 따른 비교, 마지막으로 변전소의 무부하 전압 값에 따른 비교를 수행 하였다.

4.1. 회생에너지 흡수장치 설치 수에 따른 비교

회생에너지 흡수장치 설치 수에 따른 회생 에너지 활용도

표 5 모든 변전소에 회생에너지 흡수장치 설치
Table 5 Install of regenerative energy absorber at all substation

Name	공급전력[kWh]	회수전력[kWh]
101변전소	342.65	89.98
103변전소	432.99	58.33
105변전소	392.56	39.82
107변전소	387.34	53.72
108변전소	371.51	12.2
109변전소	315.82	40.14
	2,242.87	294.19

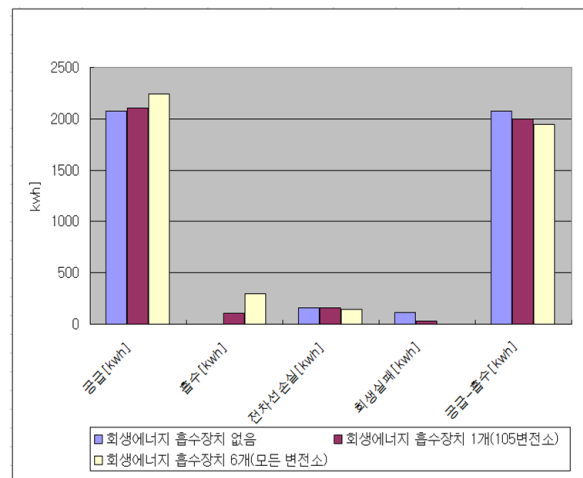


그림 7 회생에너지 흡수장치 수에 따른 회생 에너지 활용도 비교
Fig. 7 Comparison of regenerative energy utilization by installing absorber in 3 cases

비교는 3가지 경우로 비교하였다. 첫 번째로 회생에너지 흡수장치를 설치하지 않은 경우(case 1), 두 번째로 회생에너지 흡수장치를 1개 변전소(노선 중간에 105변전소)에만 설치한 경우(case 2), 세 번째로 회생에너지 흡수장치를 모든 변전소(6개)에 모두 설치 한 경우(case 3)로 수행하였다.

그림 7은 회생에너지 흡수장치 수에 따른 회생 에너지 활용도를 나타내었다. 파란색 계열은 회생에너지 흡수장치가 없을 경우이며, 빨간색 계열은 회생에너지 흡수장치가 1개인 경우이며, 노랑색 계열은 모든 변전소에 흡수장치(6개)를 설치 한 경우이다. 모든 변전소에 회생에너지 흡수장치를 설치 할 경우, 회생에너지 활용도가 가장 높게 나왔다. 그리고 회생에너지 활용도는 순수 공급에너지(=총 공급에너지-총 흡수에너지) 값이 작을수록 활용도가 높은 것으로 판단하였다. 그리고 주목할 점은 회생 에너지 흡수장치가 많이 설치될수록 변전소에서 공급되는 에너지양도 더 커진다는 것이다.

4.2 변전소 내부저항 값에 따른 회생 에너지 활용도 분석

변전소 내부저항 값에 따른 회생에너지 활용도 비교는 회생에너지 흡수장치를 1개 변전소(노선 중간에 105변전소)에만 설치한 경우(case 2) 에서 회생에너지 흡수장치의 내부저항이 0.0225[Ω], 0.045[Ω], 0.225[Ω] 경우의 3개 경우를 비교 검토하였다. 이 3 가지 경우의 시뮬레이션 결과는 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 보듯이 회생에너지 저장장치의 내부저항이 작을수록 회생에너지 활용도가 가장 높게 나왔다.

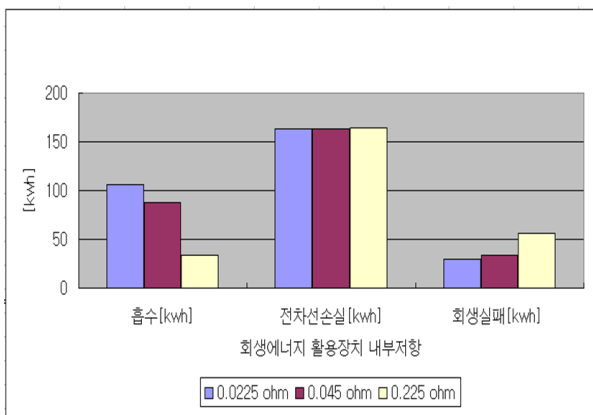


그림 8 내부저항에 따른 회생에너지 활용도 비교.

Fig. 8 Comparison of regenerative energy utilization by internal resistance in 3 cases.

4.3 변전소 무부하 전압 값에 따른 회생 에너지 활용도 분석

회생에너지 흡수장치가 에너지를 흡수하는 시점을 변전소 DC 모선의 전압이 무부하 전압 이상이 될 때로 가정하였기 때문에 무부하 전압의 변동과 회생에너지 활용도를 비교 분석하였다. 무부하 전압으로는 DC 750[V], DC 770[V], DC 790[V]의 3가지 경우로 비교 분석하였다. 그림 9은 각각의 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 9에서 보듯이 변전소 무부하 전압이 낮을수록 회생에너지 활용도가 가장 높게 나왔으나 그 차이가 경미함으로 무부하 전압의 변화에 따른 회

생에너지 활용도의 변화는 미미한 것으로 평가되었다.

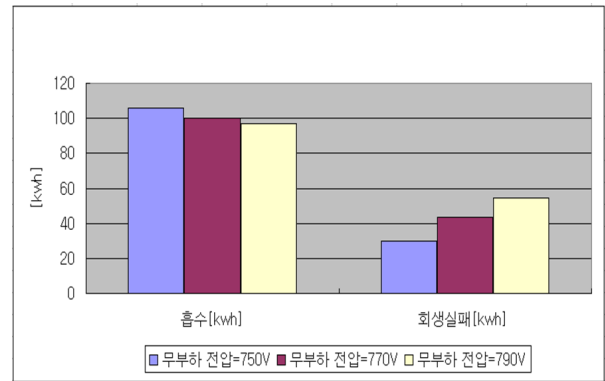


그림 9 무부하 전압변동에 따른 회생에너지 활용도 비교

Fig. 9 Comparison of regenerative energy utilization by no-load voltage in 3 cases.

5. 결 론

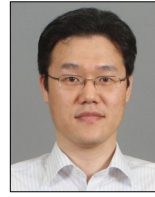
본 논문에서는 DC 급전시뮬레이션을 통해 회생에너지 활용에 영향을 미치는 주요 설계 혹은 운영변수들을 변화시켜 결과를 검토하였다. 검토 결과, 회생에너지 흡수장치 설치 수에 따른 비교에서는 흡수장치가 많을수록 회생에너지 활용도는 예상대로 높게 나올을 확인하였다. 여기서 주목할 점은 흡수장치가 많아지므로 이에 따른 공급 전력량도 증가 한다는 것이다. 변전소 내부 저항 값에 따른 비교에서는 내부저항이 작을수록 회생에너지 활용도가 높게 나타났다. 변전소 무부하 전압값에 따른 비교에서는 무부하 전압값이 낮을수록 회생에너지 활용도가 높게 나타났지만, 그 차이가 경미함으로 무부하 전압의 변화에 따른 회생에너지 활용도 변화는 미미한 것으로 평가되었다.

References

- [1] Korea Railroad Research Institute, "A Study on the Construction of Systematism in Electric Railway Power System", 2000.
- [2] Gawoo Park, "ESS-connected regenerative energy system", Journal of KIEE April. 2014.
- [3] Sang-Gi Chung, Jae-Seung Hong "Computer Algorithm for the Loadflow of the DC Traction Power Supply System", The Korean Society for railway Conference, pp. 78-85, 2000.
- [4] Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement., "A study of Power flow analysis applied to energy storage system in railway system", 2009
- [5] Seungmin Jung, Hansang Lee, Gilsung Byun, Gilsoo Jang, Sae-Hyuk Kwon, Hosung Jung, Hyungchul Kim. "A Study of Improving Regenerative Energy

Utilization in Urban DC Railway Systems Throught Sharing Substations ” Trans. KIEE, Vol. 60, No. 12, DEC, 2011.

- [6] A.Gonzalez-Gil, R Palacin, P.Batty, J.P.Powell, “Energy-efficient urban rail systems: strategies for an optimal management of regenerative braking energy, Transport Research Arena 2014, Paris.
- [7] Dae-Won Chung, “Development of Regenerative Energy Storage System for An Electric Vehicle Using Super-Capacitors”, KIEE Vol. 60, No.3 MAR, 2011.
- [8] Seungmin Jung, Se-jun Park ,Hansang Lee, Gilsoo Jang, Sae-Hyuk Kwon, Hosung Jung, Hyungchul Kim. “Analysis of savings rates due to improving regenerative energy utilization in Urban DC railway systems through sharing substations” KIEE pp. 157-158, Nov, 2011.



박 종 영(Jongyoung Park)

1976년 8월생. 1999년 서울대학교 전기공학부 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학석사). 2007년 동 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2007~2009년 한국전기연구원. 2009년~2013년 LS산전. 2013년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원.

Tel : 031-460-5731, Fax : 031-460-5749
E-mail : jypark@krri.re.kr

저 자 소 개



신 승 권(Seungkwon Shin)

1972년 6월생, 1998년 성균관대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2003년~현재 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀 선임연구원

Tel : 031-460-5685
Fax : 031-460-5749
E-mail : skshin@krri.re.kr



정 호 성(Hosung Jung)

1971년 10월생, 2002년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2002년~현재 한국철도기술연구원 기술전략실 책임연구원

Tel : 031-460-5116
Fax : 031-460-5749
E-mail : hsjung@krri.re.kr



김 형 철(Hyungchul Kim)

1967년 9월생, 1991년 고려대학교 전기공학과 졸업, 2003년 Texas A&M 졸업(공학박사). 2004년~ 현재 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀 책임연구원

Tel : 031-460-5450
Fax : 031-460-5749
E-mail : hckim@krri.re.kr