

도시철도부하 수요자원 관리에 ESS 활용 시 경제성 분석

Economic Evaluation of ESS Applying to Demand Response Management in Urban Railway System

박 종 영[†] · 허 재 행^{*} · 김 형 익^{**} · 김 형 철^{***} · 신 승 권^{***}

(Jong-young Park · Jae-Haeng Heo · Hyeongig Kim · Hyungchul Kim · Seungkwon Shin)

Abstract - The aims of the demand response market are stabilization of the power supply and improving of the reliability of the power system. The various applications of the energy storage system (ESS) in the railway systems are studied and implemented to raise the energy efficiency. It is one of the most important how to determine the obligation reduction capacity (ORC) in participation to the demand response market because it has an influence on the profit extremely. In this paper, when participating to the demand response market with demands in the urban railway, we calculated the available ORC and economically evaluated ESS based on the real load data.

Key Words : Demand response, ESS, Economic assessment, Urban railway

1. 서 론

에너지 자원 및 환경 문제에 대한 관심이 많아지면서 에너지 효율의 극대화와 수급 안정화에 대한 관심이 높아지고 있다. 전력시장의 자율화가 추진되면서 해외에서는 수요측이 중요한 역할을 할 수 있도록 다양한 수요반응 프로그램을 도입, 운영하는 추세이다. 수요반응 프로그램을 적용하면 동하계 예비율 확보 등 단기수급 대응 및 발전소 건설 불확실성을 해소하여 전력수급 안정화에 기여할 수 있다. 또한 스마트그리드 기술이 활성화되면서 스마트그리드 사업자가 관련 기술이나 제품을 적용할 수 있는 분야이다.

수요반응(Demand Response, DR)은 전력시장에서 공급자의 공급이 아닌 수요자의 소비패턴을 변화시켜 전력수요를 조절함으로써 첨두부하를 억제하고 공급예비력을 확보하는 것을 목적으로 한다. 이를 통하여 전력수급을 안정화시키고, 전력공급의 신뢰도를 증가시킬 수 있다.

한국전력거래소(KPX)가 운영하는 수요자원시장은 등록된 고객들이 시장개설 통보 시 감축가격과 감축가능량을 인터넷을 통해 직접 입찰하고 이를 기반으로 결정되는 시장가격과 감축량에 따

라 지원금이 지급되는 전력수요관리제도이다[1]. 수요자원시장은 의무감축이행(신뢰도 DR)과 입찰(경제성 DR)로 이루어지는데, 의무감축이행은 수요자원 사업자와 거래소가 의무감축용량을 사전에 계약하고, 전력거래소가 계약용량에 대해 감축지시를 발령하면 의무적으로 부하를 감축하는 것을 말한다. 입찰은 전력거래소의 감축지시 이행의무가 없고, 하루 전 시장에서 발전자원과 경쟁적으로 가격입찰을 하여 발전보다 저렴한 경우에 낙찰되게 된다.



그림 1 수요자원시장의 개요

Fig. 1 Overview of demand response market

도시철도시스템 분야에서도 효율적인 전력에너지의 사용을 위해 신재생에너지원 및 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)의 적용이나 스마트그리드 기술 및 에너지관리시스템(Energy Management System, EMS)의 적용에 대한 연구 및 실증이 이루어지고 있다 [2-4]. 또한 첨두부하를 낮춰서 전력요금을 절감하기 위한 목적으로 ESS를 설치했을 때 최적용량[5]이나 그 경제성[6]을 분석하였다. 이밖에도 철도 분야에서 회생에너지 저장 등 ESS의 활용을 통한 에너지 효율을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다. [7-8]

이 논문에서는 도시철도 부하를 가지고 수요자원에 시장에 참여할 때, ESS의 활용 가능성을 분석하였다. 이를 위하여 도시철

[†] Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Korea
E-mail : jypark@krri.re.kr

^{*} Power System Research team, Master's space Co. Ltd., Korea

^{**} Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University, Korea

^{***}Korea Railroad Research Institute, Korea

Received : October 17, 2016; Accepted : December 15, 2016

도 부하 특성을 분석하여 의무감축용량(Obligation Reduction Capacity, ORC)을 어떻게 산정할 수 있는지 알아 보았다. ORC 산정은 수요자원 시장 참여 시 경제성에 영향을 미치는 기본 요소이다. 그리고 ORC를 산정할 때 ESS를 어떤 식으로 활용할 수 있는지 알아보고, 그 경제성을 분석하였다. 이를 위하여 ESS를 모델링한 다음 도시철도운영기관의 실제 부하데이터를 활용하여 모의 운영을 수행하고, 그 결과를 분석하였다.

2. 수요자원시장 참여 도시철도 부하 분석

본 논문에서는 다음과 같은 조건에서 도시철도부하가 참여고객으로서 수요자원 시장에 참여한다고 가정하였다. 실제 참여고객들은 사업자와 다양한 형태의 계약을 맺지만, 이 논문에서는 사업자가 시장에서 받는 규칙을 고객에게도 동일하게 적용한다고 가정하였다.

2.1 기준부하 산정

참여고객의 수요자원 거래시장 신뢰도 DR에서의 수익모델은 ORC에 비례하여 정산 받는 '기본정산금'과 급전지시에 따라 계산되는 '급전지시이행 정산금'으로 구분할 수 있다. ORC는 '수요반응자원을 보유한 수요관리사업자가 전력거래소의 실시간 급전지시에 따라 전력부하를 감축할 수 있는 최대용량(단위는 MW)'으로 정의되며, 기본정산금 계산 시 기준이 되는 값으로서 참여고객의 수익에 큰 영향을 미치는 요소이며, 급전지시 시 최댓값이 된다.

수요자원시장에서 급전지시 감축량은 고객기준부하(Customer Baseline Load, CBL) 대비 ORC까지이다. 일반적으로 CBL을 산정하는 방식은 급전발령일 이전 최근일의 평균 전기소비량을 이용하여 결정되되, 이 때 토요일, 일요일 및 공휴일, 비정상근무일은 포함하지 않는다. 이는 표 1에 정리하였다.

표 1 CBL 산정 방법 및 옵션

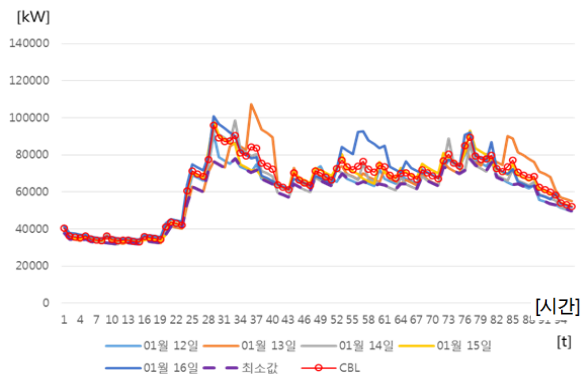
Table 1 Calculation of CBL and options

	구분	항 목
기본	Max(4/5)	최근 5일 중 최대 4일간의 평균 전기소비량
	Mid(6/10)	최근 10일 중 최대 2일, 최소 2일을 제외한 6일의 평균 전기소비량
옵션	비정상근무일	창립기념일 등 평상시와 매우 다른 날을 제외하여 CBL 정확성 제고
	전기소비형태 반영	감축시행일의 감축시작 전 전기소비패턴과 유사일과의 차이를 CBL에 반영

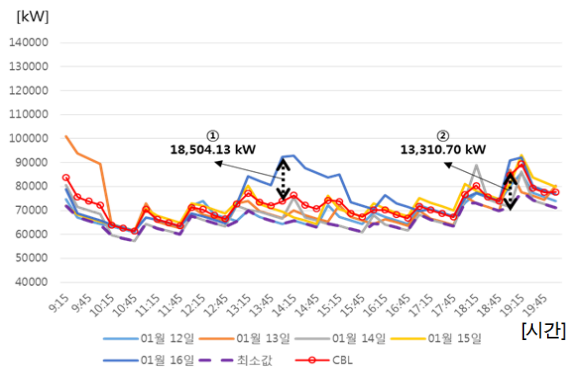
위의 CBL 산정 방법 중 Max(4/5)의 방법을 사용하였다. 그 이유는 수요자원시장이 도입되기 전에 진행되었던 지능형 DR사업에서 적용했던 방법이기 때문이며, 사이트별로 조건에 따라 달라질 수 있다. 그림 2는 서울도시철도의 2015년 1월 12일-16일

(월-금) 데이터를 이용하여 계산한 CBL을 도시고, 이 중 오전 9시에서 오후 20시까지의 부분을 발췌하여 나타내었다. 이 때 계산한 CBL은 월-금요일 데이터 중, 각 시간대 별 수요 최솟값을 제외한 4일의 평균값으로 계산하였다.

그림 2에서 알 수 있듯이 도시철도부하의 일별 수요 수준의 차이가 최소 4.4MW에서 최대 28.99MW까지 다양함을 알 수 있다. 이는 계산된 CBL과 실제 수요의 편차가 매우 클 수 있음을 시사한다. 실제로 실제수요와 CBL의 최대편차는, 실제수요가 CBL보다 큰 경우 18.50MW, CBL보다 실제수요가 작은 경우는 13.31MW로 계산되었다. 봄/가을과 여름의 경우도 비슷한 결과를 나타내었고, 이때의 실제수요와 CBL간의 차이는 아래 표 2에 정리하였다.



(a) 일간 데이터



(b) 산정에 대한 하루 중의 상세 데이터

그림 2 고객기준부하(CBL) 산정 예

Fig. 2 Determination of CBL

표 2 실제부하와 CBL 간의 최대 편차

Table 2 Maximum deviations of real load from CBL

	실제 수요와 CBL 간 편차 [kW] (실제 수요 - CBL)	
	실제 수요 < CBL	실제 수요 > CBL
2015년 1월	-13,310.7	18,504.1
2015년 4월	-19,544.6	14,661.6
2015년 7월	-40,930.8	25,339.7

2.2 최적 의무감축용량 산정

수요자원시장 참여 시 ORC를 산정하기 위하여, 먼저 [9]에서 제안한 방법으로 차단가능용량을 계절별로 계산하였다. 이를 위해 오전 9시에서 12시, 오후 13시에서 20시 사이 차단가능용량 중에서 최소값을 ORC로 산정할 수 있는 최댓값으로 산정하였다. 이를 위하여 시간대별로 최대 차단가능용량의 확률밀도와 그 누적분포를 구하였다. 정리하면 각 계절별로 시간대별 차단 가능량을 구한 다음, 확률밀도, 누적분포를 구하였다. 그 과정을 15년도 겨울의 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

그림 3~5는 각각 시간대별 부하차단가능량 분포, 확률밀도, 누적분포를 나타낸 그림이다. 2015년 1월 전체 평일을 대상으로 하였으며, 실제 급전지시가 가능한 오전 9시에서 오후 20시 사이의 15분 간격 데이터이다. 데이터 분석 결과를 살펴보면, 1월의 차단 가능량은 시간대에 따라 1,928 kW에서 11,347 kW 사이의 분포를 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

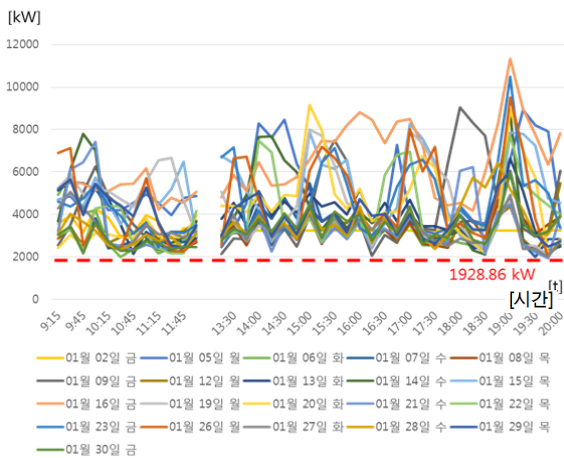


그림 3 급전지시 가능 시간대 부하차단가능량 (2015년 1월)
Fig. 3 interruptible load profile in days (in January 2015)

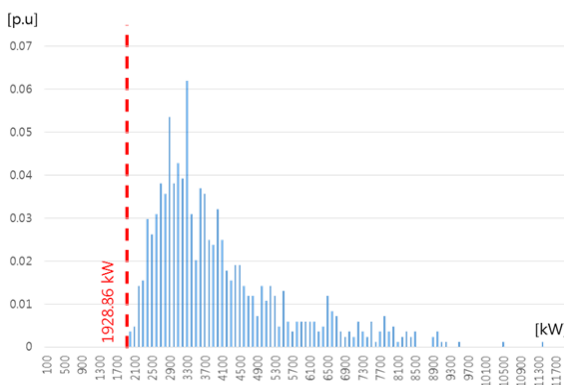


그림 4 급전지시 가능 시간대 부하차단가능량 확률 밀도 (2015년 1월)
Fig. 4 Probability density of the interruptible load (in January 2015)

이와 같이 계절별로 집계한 값을 기준으로 최적 ORC 값을 산정하였다. 수요자원시장에서 신뢰도 DR의 가장 큰 수익은 기본 정산금으로 얻을 수 있으므로, 최대 산정할 수 있는 ORC 값이 최적값이다. 따라서 급전지시 불이행이 발생하지 않도록 여유를 뒤서, 차단 가능한 부하량의 최소값에서 10 kW 단위에서 내림을 한 다음 거기에서 100 kW를 뺀 값을 최적 ORC 값으로 산정하였다. 그 결과를 표 3에 정리하였다. 계절별 최적 ORC 중 최소 값인 가을의 값이 계약 시 ORC 값이 된다.

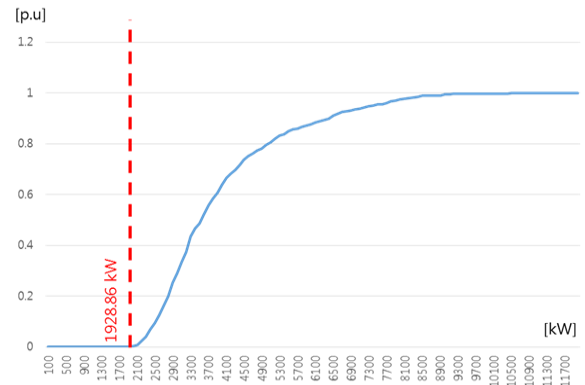


그림 5 급전지시 가능 시간대 부하차단가능량 누적분포 (2015년 1월)

Fig. 5 Cumulative distribution of the interruptible load (in January 2015)

표 3 실제부하와 CBL 간의 최대 편차

Table 3 Maximum deviations of real load from CBL

	겨울	봄	여름	가을
최소 부하차단 가능량 (kW)	1928.8	1312.8	1574.9	1269.9
최적 ORC (kW)	1800	1200	1400	1100

3. 수요자원시장 참여 ESS 활용

3.1 ESS 모델링

본 논문에 적용된 ESS는 1 MW/1 MWh 용량의 리튬이온 배터리로 변전소에 설치되어 운영한다고 가정하였다. 이때의 총방전 효율 η 는 90 %, ESS 효율을 위한 SoC 운영범위는 10 ~ 90 %로 일괄 적용하였다. 그리고 충전 및 방전속도는 모두 1c로 적용하였다.

본 논문에서는 도시철도부하가 ESS를 활용하여 수요자원 거래 시장에서 더욱 경제성을 확보하기 위한 최적 방안을 모색하였다. 그 중 하나의 방안으로 ESS를 활용하여 월별 최적 ORC를 추가로 확보하여 기본정산금을 추가로 정산 받는 방법을 제안한다. 지난 장에서 급전지시 시 100 %의 이행을 위해 차단가능 용량

중 가장 낮은 용량을 최적 ORC로 선정하는 방안을 제시하였는데, ESS가 최소 부하차단가능량 보유 시간에 방전하여 최소 부하차단가능량을 증가시키에 따라 기본정산금을 더욱 확보하는 방법이다.

이와 같은 결과를 갖기 위해서는 ESS의 운영은 하루 중 부하차단가능량의 최소값을 최대화하도록 운영되어야 한다. 부하차단가능량의 최소값으로 결정될 수 있는 부하는 급전지시가 발령될 수 있는 시간대(오전 09시에서 오후 20시까지)로 제한하였다. 이 때 ESS의 운영 모델은 다음과 같은 식으로 표현이 가능하다.

$$\max \left[\sum_{n=1}^N IL_{\neq w,n}^{\min} \right] \quad (1)$$

where

- N : 시뮬레이션 기간 [일]
- $IL_{new,n}^{\min}$: n 일, ESS 운영 후 차단 가능한 부하량 중 최소값 [kW]

이는 다음과 같은 방법으로 등가 표현이 가능하다.

$$\min \left[\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (IL_{\neq w,n,t} - IL_{old,n}^{mean})^2 \right] \quad (2)$$

where

- T : 하루 중 시간 간격
- $IL_{new,n,t}$: n 일 t 번째 시점, ESS 운영 후 부하차단가능량 [kW]
- $IL_{new,n}^{\min}$: n 일, ESS 운영 전 부하차단가능량의 평균 [kW]

이 때 ESS 운영 전/후의 부하차단가능량, ESS의 총·방전량과의 관계식 및 ESS의 충전상태(이하 SoC, State of Charge)의 점화식은 아래 수식 (3), (4)와 같다.

$$IL_{new,n,t} = IL_{old,n,t} + ESS_{n,t} \quad (3)$$

$$SoC_t = SoC_{t-1} + \eta \cdot \left(\frac{ESS_t \times 24 / T}{ESS^{cap}} \right) \quad (4)$$

where

- $IL_{new,n,t}$: n 일 t 시점, ESS 운영 전 부하차단가능량 [kW]
- $ESS_{n,t}$: n 일 t 번 시점 ESS 총방전량 [kW]
- SoC_t : t 시점의 ESS 충전 상태 [%]
- η : ESS의 총방전 효율 [%]
- ESS^{cap} : ESS의 용량 [kWh]

수식 (3)에서 $ESS_{n,t}$ 가 양수이면 충전을, 음수이면 방전을 의미한다. 이 때 제약조건은 수식 (5) ~ (7)과 같다.

$$ESS^{\min} \leq ESS_t \leq ESS^{\max} \quad (5)$$

$$SoC^{\min} \leq SoC_t \leq SoC^{\max} \quad (6)$$

$$SoC_0 = SoC_n \cdot T = \frac{1}{2}(SoC^{\max} - SoC^{\min}) \quad (7)$$

where

- $IL_{new,n,t}$: n 일 t 시점, ESS 운영 전 부하차단가능량 [kW]
- ESS^{\min}, ESS^{\max} : ESS의 총방전 최소, 최대 제약 [kW]
- SoC^{\min}, SoC^{\max} : ESS의 SoC 최소, 최대 제약 [%]
- SoC_t : ESS의 초기 충전 상태 [%]
- n : 모의 일 ($n = 1, 2, 3, \dots, N$)

수식 (5)는 t 시점에서 ESS가 최대로 충전 혹은 방전할 수 있는 양의 최소, 최댓값을 보여주는 제약 조건이다. 이 양은 ESS의 총방전 속도와 연관이 있으며, 음의 값을 갖는 ESS^{\min} 의 크기는 t 시점에서의 방전 최대량을 나타낸다. 예를 들어 ESS의 PCS 용량이 100 kW이고 충전, 방전속도가 각각 1 c, 2 c라고 한다면 시간당 최대 충전가능량(ESS^{\max})은 100 kW, 시간당 최대 방전가능량(ESS^{\min})은 -200 kW가 된다. 수식 (6)은 어느 시점에서 SoC가 ESS의 배터리운영용량 범위 안에 있어야 한다는 제약조건이다. 마지막으로 수식 (7)은 하루 단위로 운영되는 ESS의 경계조건으로 0 시와 24 시의 SoC는 배터리운영용량 범위의 50% 수준을 유지하도록 하는 제약조건이다

3.2 모의 운영 결과

2015년 1월 데이터를 활용하여 1 MW/1 MWh 용량의 ESS가 최소 부하차단가능량에 얼마만큼의 영향을 주는지 모의 운영을 통해 확인하였다. ESS 운영 전 최소 부하차단가능량은 2015년 1월 21일 수요일 19:45 시점의 1928.9 kW였고, PCS 용량이 1 MW인 ESS를 활용, 동일 시점의 부하차단가능량이 2,928.9kW로 증가함을 확인할 수 있었다. (그림 6). 이때의 ESS의 시간별 출력과 SoC 변화는 그림 7과 같다.

위와 같은 방법으로 각 계절별 추가로 확보 가능한 ORC를 계산하면 표 4와 같다.

표 4 1 MW/1 MWh ESS를 이용한 계절별 추가확보 ORC

Table 4 Additional ORC with 1 MW/1 MWh ESS

	겨울	봄	여름	가을
추가확보 ORC (kW)	999.4	1000.0	665.6	874.2

ESS는 급전지시 시 충전된 전기를 방전함으로써 더 높은 수준의 차단가능부하량 확보가 가능하고, 이를 이용하여 신뢰도 DR 참여자는 새로운 최소 부하차단가능량 만큼을 ORC로 선정하여 높아진 기본정산금을 받을 수 있다.

1MW/1MWh 용량의 ESS를 이용하였지만, 즉 총방전 순시전력이 1MW임에도 불구하고 추가 확보되는 ORC는 항상 1MW가

되지 않음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다. 이는 배터리용량의 제약으로 인한 결과로 더 큰 배터리용량의 ESS를 설치함으로써 해결이 가능하지만 이는 ESS 설치비용을 증가시키므로 그에 대한 검토가 필요하다.

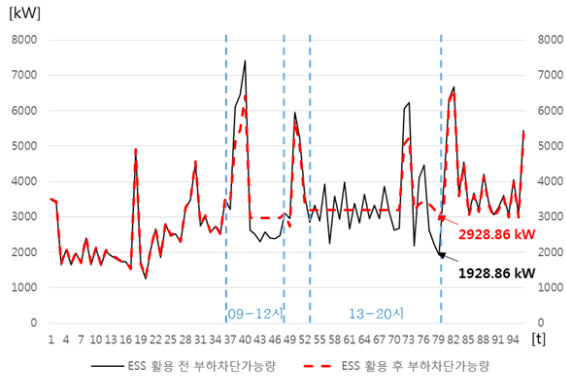


그림 6 ESS를 활용한 부하차단가능량 변화 (2015년 1월 21일)
Fig. 6 Interruptible load with ESS (21th January, 2015)



그림 7 ESS 출력 및 SoC 변화 (2015년 1월 21일 수요일)
Fig. 7 Discharge amount and SoC of ESS (21th January, 2015)

3.3 경제성 분석

ESS를 ORC 확보에 활용하였을 경우의 계절별 추가 확보 가능한 ORC의 양을 앞서 확인하였고, 이 때 매월 추가로 받을 수 있는 기본정산금과 그에 따른 연간 추가 기본정산금은 아래 표 5와 같이 정리하였다. 즉 1 MW/1 MWh 용량의 ESS를 통해 1년간 추가적으로 확보가 가능한 금액은 약 4천2백만 원 정도인 것으로 확인하였다.

이와 같은 ESS의 활용이 경제적으로 이득을 가져오기 위해서는 ESS를 설치함에 따라 들어가는 비용보다 수익이 더 많아야 한다. ESS 운영을 위한 비용의 산정은 총 설치비용에 운영비(설치비용의 25%)로 가정하였고, 연간 수익과의 비교를 위해 총 비용에 수명으로 나눠 단순 연가화한 연간 비용을 계산하였다. ESS의

수명은 ESS의 운영전략에 따라 크게 달라질 수 있으며, 연간 비용 역시 수명에 따라 큰 차이를 보인다. ORC의 추가확보를 위한 ESS의 활용 시에도 급전지시가 없을 경우에는 총방전이 이뤄지지 않으므로, ESS의 수명은 급전지시 상황에 따라 달라짐을 염두해 두어야 한다. ESS의 설치비용과 수명에 따른 ESS의 연간비용은 표 6과 같이 정리할 수 있고, 색을 칠하여 분류한 영역에서 운영하면 ESS의 사용해서 ORC를 추가하여 경제성을 확보할 수

표 5 ESS를 활용하여 추가 확보한 기본정산금

Table 5 Additional basic adjustment with ESS

	용량정산금 (BP) (원/kW)	추가 확보 ORC (kW)	추가 정산금 (원)
1월	7052.32	999.35	7,047,703
2월	5215.02	999.35	5,211,606
3월	4688.27	1000.00	4,688,270
4월	1228.78	1000.00	1,228,780
5월	846.91	1000.00	846,910
6월	3636.10	665.60	2,420,191
7월	5688.01	665.60	3,785,944
8월	4530.66	665.60	3,015,611
9월	2688.85	874.22	2,350,658
10월	1229.20	874.22	1,074,596
11월	3702.46	874.22	3,236,780
12월	7020.96	999.35	7,016,364
합계			41,923,413

표 6 ESS의 설치비용과 수명에 따른 ESS의 연간비용

Table 6 Annual costs of ESS in accordance with the install cost and the life time

ESS 설치비 (백만원)	ESS 총 비용 (백만원)	ESS 연간 비용 (백만원/년)									
		수명 (년)									
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	
50.0	62.5	10.4	8.9	7.8	6.9	6.3	5.7	5.2	4.8	4.5	
100.0	125.0	20.8	17.9	15.6	13.9	12.5	11.4	10.4	9.6	8.9	
150.0	187.5	31.3	26.8	23.4	20.8	18.8	17.0	15.6	14.4	13.4	
200.0	250.0	41.7	35.7	31.3	27.8	25.0	22.7	20.8	19.2	17.9	
250.0	312.5	52.1	44.6	39.1	34.7	31.3	28.4	26.0	24.0	22.3	
300.0	375.0	62.5	53.6	46.9	41.7	37.5	34.1	31.3	28.8	26.8	
350.0	437.5	72.9	62.5	54.7	48.6	43.8	39.8	36.5	33.7	31.3	
400.0	500.0	83.3	71.4	62.5	55.6	50.0	45.5	41.7	38.5	35.7	
450.0	562.5	93.8	80.4	70.3	62.5	56.3	51.1	46.9	43.3	40.2	
500.0	625.0	104.2	89.3	78.1	69.4	62.5	56.8	52.1	48.1	44.6	
550.0	687.5	114.6	98.2	85.9	76.4	68.8	62.5	57.3	52.9	49.1	
600.0	750.0	125.0	107.1	93.8	83.3	75.0	68.2	62.5	57.7	53.6	
650.0	812.5	135.4	116.1	101.6	90.3	81.3	73.9	67.7	62.5	58.0	
700.0	875.0	145.8	125.0	109.4	97.2	87.5	79.5	72.9	67.3	62.5	
750.0	937.5	156.3	133.9	117.2	104.2	93.8	85.2	78.1	72.1	67.0	
800.0	1000.0	166.7	142.9	125.0	111.1	100.0	90.9	83.3	76.9	71.4	
850.0	1062.5	177.1	151.8	132.8	118.1	106.3	96.6	88.5	81.7	75.9	
900.0	1125.0	187.5	160.7	140.6	125.0	112.5	102.3	93.8	86.5	80.4	
950.0	1187.5	197.9	169.6	148.4	131.9	118.8	108.0	99.0	91.3	84.8	
1000.0	1250.0	208.3	178.6	156.3	138.9	125.0	113.6	104.2	96.2	89.3	

있고, 나머지 영역에서의 운영은 오히려 비용이 수익보다 커서 손해를 보게 된다.

ESS의 경제성 분석의 예시로, ESS의 설치비가 3억원이고, 수명이 10년이라고 한다면 표 7과 같이 연간 비용은 3천7백만원으로, ESS를 ORC 추가확보로 사용한 경우 연간 약 6백만원의 추가 수익을 얻을 수 있다.

표 7 ESS의 연간 비용 예

Table 7 Example of the annual cost of ESS

ESS 수명이 10년일 경우		
	금액 (원)	연가화된 금액 (원/년)
ESS 설치비	300,000,000	30,000,000
ESS 운영비	75,000,000	7,500,000
합계		37,500,000

4. 결 론

지금까지 실제부하 데이터를 이용하여, 도시철도부하가 수요자 원시장에 참여할 때 가능한 ORC의 양을 산정한 다음, ESS를 활용했을 때 ORC의 변화와 그에 따라 경제성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

ESS를 이용하면 ORC를 추가 확보하여 추가 확보된 용량만큼의 기본정산금을 추가로 받을 수 있다. 이 경우 ESS의 운용은 급전지시 시 급전지시량이 기존 부하차단가능량보다 클 경우에만 이뤄지며, 그 외의 경우에는 ESS는 활용되지 않는다.

연구결과 ESS를 ORC 추가 확보를 위한 용도로만 활용하면 그 수익이 투자를 유인하기에 부족할 것으로 예상된다. 또한 연간 운용 횟수 및 시간이 적을 것으로 예상되어 전기요금 최소화 등과 같은 다른 목적을 위한 ESS의 활용을 동시에 고려하는 것이 바람직하다.

ESS의 높은 비용은 다양한 용도로 활용 가능한 ESS의 활용에 큰 걸림돌이 되며, 현재 비용을 낮추거나 혹은 ESS를 활용한 수익의 수준을 높이는 등 다양한 연구 및 노력이 진행 중이다. 예를 들어 [10]에서 ESS를 이용하여 부하 차단 없이 전기요금의 약 5% 수준의 절약이 가능함을 확인하였다. ESS의 수익을 높이는 방안으로 두 가지 이상의 목적으로 ESS를 활용하는 방안과 그 경제성의 분석이 필요하다. 두 가지 이상의 목적으로 ESS를 이용할 경우, 동 시간대의 ESS의 운영전략이 두 가지 이상의 목적에 의해 상충할 경우 어떤 전략을 취해야하는지에 대한 최적 전략이 필요하다. 뿐만 아니라 ESS의 운영 목표가 경제성 확보가 아닌 신뢰도를 위한 운영이거나, 미이행 시 페널티가 부가되는 점 등을 고려하여 더욱 정밀한 최적운영전략을 세워야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Website for demand response market in KPX: <http://dr.kmos.kr>
- [2] Hosung Jung, Hyungchul Kim, Seungkwon Shin, Kiyong Yoon, Jae-moon Kim, and Yang-su Kim, "Installation of power monitoring system for load pattern analysis on DC urban transit system," *ISGC&E 2013*, July 2013.
- [3] Seungkwon Shin, Hosung Jung, Hyungchul Kim, and Jinho Kim, "Study on HVDC application in AC power grid for Korean railway," *ISGC&E 2013*, July 2013.
- [4] Hansang Lee, Seungmin Jung, Hosung Jung, Hyungchul Kim, and Gilsoo Jang, "Power management for electric railway system to reduce the railway operating cost," *2012 KIEE fall conf.*, pp. 411-413, 2012.
- [5] Jong-young Park, Hosung Jung, Hyungchul Kim, and Seung-kwon Shin, "Capacity determination of ESS for peak load shaving based on the actual measurement of loads in the substation of urban Railway," *Trans. of KIEE*, Vol. 63, no. 6, pp. 860-865, June 2014.
- [6] Jong-young Park, Seungkwon Shin, Hyungchul Kim, and Hosung Jung, "Economic assessment of ESS for peak load shaving in the substation of urban railway," *Trans. of KIEE*, vol. 63, no. 12, pp. 1752 - 1758, Dec. 2014.
- [7] Chang-mu Lee, Han-min Lee, and Gil-dong Kim, "Application effect and optimal location of energy storage system in AC electric railway," *2010 KIEE Fall Conf.*, Oct. 2010.
- [8] H. Lee, J. Song, H. Lee, C. Lee, G. Jang, and G. Kim, "Capacity optimization of the supercapacitor energy storages on DC railway system using a railway powerflow algorithm," *IJICIC*, Vol. 7, no. 5, pp. 2739-2753, May 2011.
- [9] Jae-Haeng Heo, Hyungchul Kim, Seungkwon Shin, Jong-young Park, and Hyeongig Kim, "The optimal load curtailment of urban railway load," *Trans. of KIEE*, vol. 65, no. 9, pp. 1610-1617.
- [10] Jae-Haeng Heo, Seungkwon Shin, Jong-young Park, and Hyeongig Kim, "Study on the optimal operation of ESS considering urban railway load characteristic," *Trans. of KIEE*, vol. 64, no. 10, pp. 1508-1516.

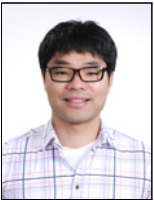
저 자 소 개



박 종 영 (Jong-young Park)

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

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



허 재 행 (Jae-Haeng Heo)

1978년 9월생. 2012년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2012~2013년 서울대학교 BK21 정보 기술 사업단 박사후 연구원. 2013~2014년 전북대학교 연구교수. 현재 장인의공간 연구원.

Tel : 031-345-8859 Fax : 031-345-8857
E-mail : jhheo78@masterspace.co.kr



김 형 익 (Hyeongig Kim)

1985년 7월생. 2011년 인하대학교 전기전자공학부 졸업. 2014년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정 수료. 현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정 연구원.

Tel : 02-880-9144 Fax : 02-880-1794
E-mail : hyeongigkim@snu.ac.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



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