

도시철도 변전소의 경제성 분석을 통한 ESS 및 태양광 최적용량 산정

Calculation of Optimal ESS and PV Capacity Through Economic Analysis of Urban Railway Substation

윤치명*, 정호성**†, 조규정**, 김형철**, 김철환*

Chi-Myeong Yun*, Hosung Jung**†, Gyu-Jung Cho**, Hyungchul Kim**, Chul-Hwan Kim*

초 록 본 논문에서는 Energy Storage System(ESS) 및 태양광 발전을 도시철도 변전소에 연계 시 순현재가치법을 이용한 경제성분석을 통하여 각각의 최적 용량을 산출하였다. 특정 도시철도 변전소의 경우, ESS와 태양광의 최대 용량을 토대로 용량을 줄여가며 각각의 경제성 분석을 수행하였고, 그 결과, 사업 기간 20년 기준 ESS 용량 282 [kWh]와 태양광 용량 228 [kW] 일 때, 약 0.97 [억원]의 이익이 산출되었다.

주요어 : ESS, Photovoltaic, Urban Railway, Economic Analysis, Net Present Value

1. 서 론

최근 파리기후협약에 맞춰 기후 변화에 대응하기 위해 신재생에너지(Renewable Energy Source) 및 ESS에 대한 적용이 활발히 이루어지고 있고, 전기철도 분야에서도 이를 활용한 여러 가지 연구가 수행되고 있다[1~3]. 단, ESS 및 신재생에너지를 같이 설치하여 경제성 분석 및 용량 산정에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 도시철도 변전소에 태양광 및 ESS를 연계 시 경제성분석 방법 중 하나인 순현재가치법을 이용하여 해당 계통에 설치할 수 있는 최대 용량을 기준으로 용량을 줄여 나가며 경제성 분석을 수행하고, 분석의 결과로 최적 용량을 도출하는 방안을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 경제성 분석

** 한국철도기술연구원 전철전력연구팀

2.1.1 순현재가치법

순현재가치법(Net Present Value, NPV)은 어떤 사업의 사업기간 동안 가치를 나타내는 경제성 분석 방법의 하나로, 투자 시점부터 사업 종료 시점까지 연도별 편익과 비용을 현재의 가치로 환산하여 사업의 타당성을 검토하는 방법이다. 본 논문에서 NPV는 아래와 같은 식 (1)로 나타낸다.

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_{cons} \quad (1)$$

여기서, B_t 는 편익, C_t 는 비용, C_{cons} 는 초기 설치비용과 교체 비용의 합이다. 편익은 기본요금과 사용량 요금 저감의 합이 되며, 비용은 연간 유지비이다. 본 논문에서는 $r=4.5\%$, $N=20$ 으로 가정하였고, ESS와 태양광의 연간 유지비 및 수명은 Table 1과 같다.

Table 1 Annual maintenance costs and life

Categories	Annual main.cost	Life expectancy	Repl. time	Repl. method
ESS	2.5% of construction cost	10~15 yrs	after 10 yrs	change w/o PCS
PV	1% of	25 yrs	-	-

† 교신저자: 한국철도기술연구원 전철전력연구팀 (hsjung@krri.re.kr)

* 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

expectancy of ESS and PV

초기 설치 비용의 경우, 정보공개포털의 설치사례를 참고하여 태양광은 2,312[천원/kW], ESS의 경우, 용량별로 다르게 단가를 적용하여 200[kWh] 초과 시, 450[천원/kWh], 그 외엔 2[천원/kWh]의 요금이 추가된다고 가정하였다.

2.2 사례연구

국내 도시철도 변전소의 실측 데이터를 토대로 ESS 및 태양광의 최대 용량을 산정하였고, ESS의 경우, 350[kWh], 태양광의 경우, 228[kW]가 도출되었다. ESS의 용량은 피크 저감량을 줄여가며 용량을 작아지게 하였고, 태양광은 20[kW]씩 용량을 줄였다. 경제성 분석의 결과는 아래 Table 2와 3과 같다.

Table 2 Economic analysis of PV by capacity

Cap.(kW)	C_{cons}	B_t	C_t	NPV
228	527,136	656,849	71,655	58,058
200	462,400	579,920	62,855	54,665
180	416,160	524,971	56,570	52,241
160	369,920	470,022	50,284	49,817
140	323,680	415,073	43,999	47,394
120	227,440	360,123	37,713	44,970
100	231,200	305,174	31,428	42,546

Table 3 Economic analysis of ESS by capacity

Peak reduction (kW)	Cap. (kWh)	C_{cons}	B_t	C_t	NPV
136.83	350	214,810	304,014	53,524	35,681
130	321	195,559	282,675	49,062	38,133
120	282	169,745	251,804	43,002	39,419
110	243	150,872	223,319	37,206	35,108
100	207	133,207	198,802	31,675	33,863
90	173	123,981	176,764	29,695	22,739

※ 금액의 단위는 모두 천원임

분석 결과, 태양광의 용량은 가장 큰 용량이 가장 높은 경제성을 가지며, ESS의

경우, 최대 용량보다 작은 282[kWh]의 용량이 경제성이 높다고 나타났다. 각각의 용량별 경제성 분석 결과값을 토대로 ESS와 태양광의 여러 가지 용량 조합에 따른 이익은 Figure 1과 같이 3차원 그래프를 통해 확인할 수 있다.

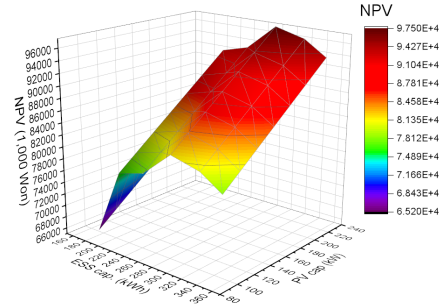


Fig. 1 Economical analysis of capacity combinations represented in 3D graphs

3. 결론

본 논문에서는 실제 운영되는 도시철도 변전소의 실측 데이터를 사용하여 산정된 ESS와 태양광의 최대 용량을 활용하여 각각의 용량을 줄여가며 경제성 분석을 수행했다. 그 결과, 태양광은 최대용량을, ESS는 282[kWh]의 용량이 가장 큰 경제성을 보였다.

참고문헌

- [1] Z. Zhong (2020), *Hierarchical Optimization of an On-Board Supercapacitor Energy Storage System Considering Train Electric Braking Characteristics and System Loss*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, no. 3, pp. 2576-2587.
- [2] Jong-young Park (2017), *Economic Evaluation of ESS in Urban Railway Substation for Peak Load Shaving Based on Net Present Value*, J. Electr. Eng. Technol.
- [3] J. A. Aguado (2018), *Optimal Operation of Electric Railways With Renewable Energy and Electric Storage Systems*, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 9, no. 2, pp. 993-1001.
- [4] 정보공개포털(2021), Online Resource, <https://www.open.go.kr/com/main/mainView.do>, accessed April, 2021..