

ESS 를 활용한 하이브리드 에너지 스테이션 비용 최적 운영 방법론

윤동현, 구명교, 정재성*
아주대학교 전력시스템연구실

ydh812@ajou.ac.kr, rnaudry123@ajou.ac.kr, jjung@ajou.ac.kr

요약

최근 EV 와 EV 충전소의 급속한 증가와 함께, 충전소에 태양광과 BESS 를 결합한 하이브리드 에너지스테이션이 비용 최적 운영 관점으로 활발하게 연구되고 있다. 본 논문은 BESS 의 충-방전 스케줄링을 고려한 하이브리드 에너지 스테이션의 비용 최적 운영 방법론을 제안한다. SMP 와 TOU 의 편차, EV 충전 수익 등을 고려하여 수익을 계산하였으며, 이를 목적함수로 설정하여 매시간 BESS 의 충전, 대기, 방전의 운영 스케줄링을 도출하였다. 본 알고리즘을 통하여 TOU 의 피크 타임 등을 고려한 BESS 의 최적 스케줄링 분석을 하였다. 본 논문이 하이브리드 에너지스테이션의 비용 최적 연구에 도움이 되기를 기대한다.

I. 서론

최근 배전 계통은 다양한 변화를 맞이하고 있다. 신재생 에너지를 포함하여 EV 와 EVCS(EV charging station) 또한 증가하는 추세이다. 이러한 흐름에 따라, EV 의 충전 전력을 신재생 에너지를 통해 충전하는 ES (Energy station)에 대한 연구와 실증이 활발하다. 하지만 ES 는 비용과 효율 측면에서 최적으로 운영되기 어렵다. EV 의 모든 충전 요구량을 신재생 에너지로 대체할 수 없으며, 대체된다 하더라도 신재생 에너지의 변동성으로 인하여 EV 가 입고되지 않을 경우의 낭비되는 에너지 또한 존재한다. 이를 고려하여 보다 효율적으로 운영하기 위하여, BESS(Battery Energy Storage System)를 결합한 하이브리드 ES 운영이 최근 연구되고 있다 [1,2].

하지만 기존 논문들은 하이브리드 ES 의 비용 최적 연구를 EV 와 부하 예측 알고리즘 관점으로 연구하고 있는 추세이다. BESS 가 설치되었기 때문에, PV 의 SMP 판매 가격과, EV 의 충전 비용, 계시 별 요금제 등이 종합적으로 고려할 때, BESS 를 통한 최적 비용 운영이 가능하다. 본 논문은 따라서 BESS 를 활용한 하이브리드 에너지 스테이션의 비용 최적 운영 방법론에 대하여 제안한다.

II. 본론

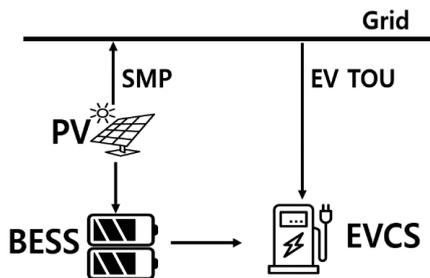


그림 1 ES 개요도

그림 1 은 본 논문의 ES 의 개요도를 나타낸다. PV 는 발전된 전력을 계통으로 판매할 수 있으며, BESS 로 충전할 수도 있다. 마찬가지로 BESS 는 충전된 전력을 EVCS 로 보내 EV 를 충전할 수 있으며 BESS 의 충전된

전력이 없다면, EV 는 계통에서 전력을 받아 충전할 수 있다. 이때 EV 충전 비용이 발생한다.

하지만 PV 의 발전된 전력을 언제나 BESS 로 충전하는 것이 비용적으로 이득은 아니며, BESS 또한 충전된 전력을 언제나 EV 로 충전하는 것이 이득이 아닐 수 있다. 따라서 ES 운영 수익을 아래와 같이 계산한다.

$$Pr_t = SMP_t + EV_{revenue,t} - TOU_{EV,t} \quad (1)$$

$$Pr_{BESS,t} = EV_{revenue,BESS,t} \quad (2)$$

식 (1)과 같이 수익은 SMP 의 발전량 판매 수익과 EV 의 충전 수익, EV 가 계통에서 충전할 때 발생한 계시 별 요금제(Time of Uses, TOU) 충전 비용을 차감하여 계산된다. 만약 BESS 를 사용한다면, 식 (2)와 같이, EV 충전 수익만 발생한다. PV 의 발전된 전력은 SMP 로 판매되지 않고 BESS 로 충전하기 때문에, 수익이 발생하지 않으며, BESS 의 전력을 사용하기 때문에 TOU 비용도 발생하지 않는다. 따라서 TOU 가격이 SMP 보다 비싸다면, ESS 를 운영하는 것이 비용적으로 이득이 된다.

$$BESS\ mode(x_t) = \begin{cases} 0; & \text{Charging} \\ 1; & \text{Idle} \\ 2; & \text{Discharging} \end{cases} \quad (3)$$

$$BESS\ mode(x_t) = [x_1, \dots, x_{24}] \quad (4)$$

$$x_{(n,t)} = \begin{cases} [0,0, \dots, 0,0] \\ \vdots \\ [2,2, \dots, 2,2] \end{cases} \quad (5)$$

식 (3-5)는 ESS 의 모드에 대해서 나타낸다. ESS 는 충전과 대기, 방전으로 동작한다. 각 모드는 매시간 별 결정된다. 식 (5)와 같이 하루 24 시간의 전체 경우의 수 중에서 가장 최적의 수익이 발생한 조건을 최적으로 선택한다.

$$object\ function = \operatorname{argmax}_{n=1, \dots, N} \sum_{t=1}^T Pr(x_{n,t}) \quad (6)$$

식 (6)은 식 (5)의 전체 경우의 수에 대해서 앞서 계산한 수익 수식인 식 (1-2)를 적용한 목적함수이다. 전체 수익의 합산이 가장 큰 경우를 최적의 경우로 선택한다. 식 (6)으로 선택된 최적의 경우의 수를 분석하여 본 논문의 알고리즘으로 재구성하였다.

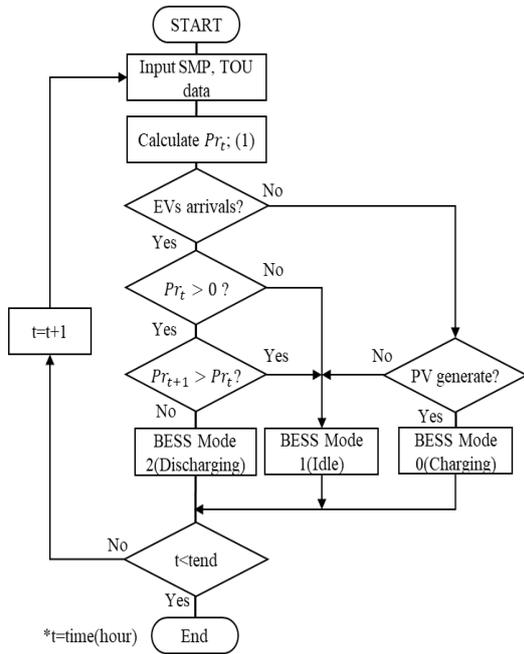


그림 2 알고리즘 흐름도

그림 2 은 본 제안된 알고리즘의 흐름도이다. SMP 와 TOU 등의 입력 데이터를 읽고, 수익을 계산한다. EV 현재 ES 에 입고가 되었다면, 수익에 따라 ESS 의 방전과 대기 여부를 결정한다. 만약 Pr_{t+1} 가 Pr_t 보다 크다면, 다음 시간의 수익이 더 높기 때문에, ESS 는 현재의 전력을 방전하지 않고 대기한다. EV 가 없다면, PV 발전량에 따라 충전과 대기 여부를 결정한다.

III. 사례연구

그림 2 의 알고리즘을 사용하여 본 논문은 하루 단위의 하이브리드 ES 를 시뮬레이션을 실시하였다. 입력 데이터는 한국 공공 데이터 포털에서 제공하는 PV 태양광, 월 별 SMP 평균 데이터, 서울시의 EV 입고 데이터 등을 활용하였으며 [3], EV TOU 와 계시 별 피크 타임은 한국 전력에서 제공하는 전력 요금표를 기준으로 작성되었다 [4].

표 1. ES 구성 요소의 가정사항

Components Content		Spec
PV	PV Power	100 kW
	PV PCS ratio	1:1
BESS	BESS Energy	200 kWh
	BESS PCS ratio	1:1
	Char-Discharging Efficiency	95%
EV	EV fast charger (EA)	70 kw (1 EA)
	EV slow charger (EA)	5 kw (6 EA)

표 1 은 본 사례연구에서 적용한 입력 데이터 가정사항이다. PV 는 100kW, BESS 는 200kWh 로 설치되었으며 각각의 PCS 는 1:1 비율이다. 충-방전 효율은 95%, EVCS 는 급속과 완속을 각각 70, 5kW 로 구분하였고, 1 대와 6 대를 설치하였다.

그림 3 은 여름의 요금제와 피크타임이 적용된 하루 운영 결과이다. 앞서 설명한 바와 같이 BESS 의 충전 모드는 PV 발전이 가능하며, 동시에 EV 입고가 없을 때, 발생한다.

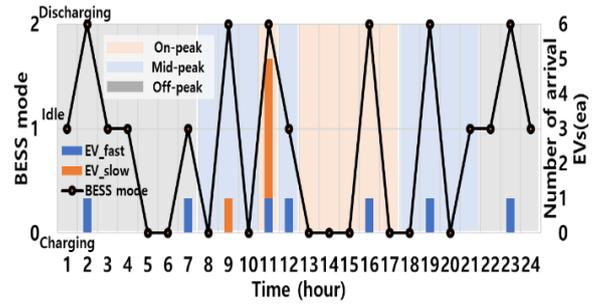


그림 3 에너지 스테이션 하루 운영 결과(여름)

여름에는 EV TOU 가 다른 계절보다 높기 때문에, 대부분의 시간대에서 방전하는 것이 이득이다. 하지만 07:00 과 12:00 은 다음 시간의 피크타임이 더 수익이 발생할 수 있기 때문에, 최적의 이익을 위해서 현재의 에너지를 방전하지 않고 저장한다.

IV. 결론

본 논문은 ES 와 BESS 운영을 위한 BESS 최적 운영 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 해당 알고리즘은 비용 최적 운영을 고려하여, SMP와 TOU의 가격 편차에 따라 BESS의 운영을 충전과 대기, 방전으로 구분하였다. 추후 연구를 통하여 BESS 와 PV 의 설치 비용과 유지보수 비용까지 고려할 수 있다면 BESS 운영 알고리즘을 활용하여 수익을 극대화함으로써 하이브리드 ES 가 더욱 활성화될 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2022 년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20228530050030)

참고 문헌

- [1] Q. Yan et al., "Optimized operational cost reduction for an EV charging station integrated with battery energy storage and PV generation," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 2, pp. 2096-2106, 2018 [DOI: 10.1109/TSG.2017.2788440].
- [2] A. Hussain et al., "Optimal sizing of battery energy storage system in a fast EV charging station considering power outages," IEEE Trans. Transp. Electrification, vol. 6, no. 2, pp. 453-463, 2020 [DOI: 10.1109/TTE.2020.2980744].
- [3] Korea Public Data Portal: Ministry of the Interior and Safety, South Korea web site. Accessed: Oct 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.data.go.kr/data/15025486/fileData.do>
- [4] KEPCO: Korean Electric Power Corporation web site. Accessed: Oct 24, 2023. [Online]. Available: <https://online.kepco.co.kr/PRM004D00>.