

# 계층적 ESS 기반 SoC제어를 통해 전기료를 최소화하는 전력 제어 시스템

이수호, 정장현, 최성곤\*

충북대학교

tngh506@cbnu.ac.kr, wkdgus4788@daum.net, \*choisg@chnu.ac.kr

## Electric power controlling system for minimizing electrical fee through optimal State of Charge control based on hierarchical Energy Storage System

Su Ho Lee, Jang Hyeon Jeong, \*Seong Gon Shoi

Chungbuk National Univ

### 요약

본 논문은 계층적 ESS를 기반으로 ESS의 SoC 제어를 통해 전기료를 최소화하는 전력 제어 시스템을 제안한다. 구체적으로 제안된 방법은 계층적 ESS가 서로 충/방전 제어를 하여 계층적 ESS의 최적 SoC를 유지하게 한다. 계층적 ESS의 최적 SoC를 유지 못 하는 경우에만 전력공급자에게 계층적 ESS의 최적 SoC를 유지할 정도의 전력을 구매하는 방식으로 전기료를 최소화하는 방법을 제안한다.

### I. 서론

전력 공급자로부터 전력을 공급받는 사용자의 전력 사용량 피크 로드를 일정하게 유지 시키는 방법이 연구되어 왔다.[1] 기존 방법은 전력공급자로부터 매 시간마다 수많은 수요자의 전력 소비량을 다루어야하기 때문에 중앙 제어의 부담이 크다는 문제점이 있다. 따라서 ESS를 활용하여 전력의 충/방전 제어 방법을 적용하여 해당 지역의 전력 공급을 제어하는 시스템이 필요하다[2]. 또한, ESS의 SoC는 전력의 공급과 수요에 따라 변화하기 때문에 SoC(State of Charge)가 낮아질 수 있다. 이 경우, 피크 로드에서 대응이 미흡할 수 있기 때문에 ESS의 최적 SoC를 유지할 수 있는 시스템이 요구된다. 또한, 피크 로드 발생 시, 전력의 가격 또한 인상되기 때문에 수요자가 부담해야하는 전기료는 기하급수적으로 증가할 수 있는 문제점이 있다. 따라서 피크 로드 발생 시 구매하는 전력에 대한 전기료를 최소화하는 방안이 요구된다.

본 논문은 앞서 기술한 문제를 해결하기 위해 계층적 ESS(메인 ESS, 서브 ESS)를 활용하여 계층적 ESS가 서로 충/방전을 제어하는 시스템을 제공하고 계층적 ESS의 충/방전을 결정하는 기준을 정의하여 계층적 ESS에 전력을 공급함으로써 계층적 ESS의 최적 SoC를 유지하는 목적을 가진다. 또한, 계층적 ESS의 최적 SoC를 유지 못하는 경우에만 전력 공급자에게 계층적 ESS의 최적 SoC를 유지 할 정도의 전력을 구매하는 방식으로 전기료를 최소화 하는 방법을 제안한다.

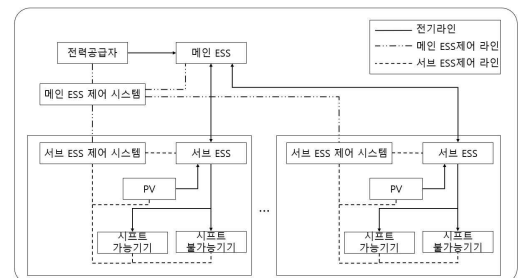
2장에서는 제안하는 계층적 ESS 기반 SoC제어를 통해 전기료를 최소화하는 전력제어시스템을 설명한다. 3장은 시뮬레이션 결과를 보여준다. 마지막으로 4장은 본 논문의 결론을 제시한다.

### II. 본론

#### 2.1 제안하는 시스템 구성도

그림 1은 본 논문에서 제안하는 계층적 ESS 기반 최적 SoC 제어를 통한 전력 전력제어시스템의 구조이다. 그림 1의 전력제어시스템을 통해 최적

SoC를 유지하고 전기료를 최소화한다.



<그림 1. 제안한 전력제어시스템 구성도>

그림 1에서 제안한 전력제어시스템은 전력공급자로부터 들어오는 전력의 가격을 최소화하기 위하여, PV에서 생산된 전력을 서브 ESS에 저장하고, 서브 ESS의 전력을 받아 메인 ESS의 최적 SoC를 유지하고, 메인 ESS의 최적 SoC를 유지하지 못하게 되면 전력공급자로부터 전력을 공급받도록 함으로써, 전기료를 최소화할 수 있다.

#### 2.2 전기료를 최소화 공식

$$\min P_t \quad (1)$$

공식 1은 전력 공급자에게 구매하는 전력량을 최소화하여 전기료를 최소화하는 목적함수이다.  $P_t$ 은 단위 시간  $t$ 의 전기료이다.

$$P_t = C_t^{Mess} \times X_t \quad (2)$$

공식 2에서  $P_t$ 는 전력 공급자로부터 들어오는 전력의 가격이다.  $C_t^{Mess}$ 은 단위 시간  $t$ 에서 전력 공급자로부터 메인 ESS의 SoC를 유지하기 위해 공급받아야 할 전력량이고  $X_t$ 은 단위 시간  $t$ 에서 단위 전력 가격이다.

공식 3은 전력공급자로부터 메인 ESS가 공급 받는 전력량의 결정 기준을 설명한다.  $R_t^{Mess}$ 은 단위 시간  $t$ 에서 메인 ESS의 최적 SoC를 유지하기 위해 필요로 하는 전력량이다.

공식 4에서 메인 ESS의 최적 SoC를 유지하기 위해 필요로 하는 전력량

을 구하는 공식이다.  $SOC^{Mess,p}$  은 메인 ESS의 최적 SoC이고  $SOC_t^{Mess}$  은 단위 시간 t에서 단위시간 t에서 메인 ESS의 SoC이다.

$$C_t^{Mess} = \begin{cases} C^{Mess} & \text{if } (R_t^{Mess} \geq 0) \\ 0 & \text{if } (R_t^{Mess} < 0) \end{cases} \quad (3)$$

$$R_t^{Mess} = SOC^{Mess,p} - SOC_t^{Mess} \quad (4)$$

공식 5은 서브 ESS의 충/방전량을 결정 기준을 설명한다.  $SW_{n,t}^{S,ess}$  은 단위 시간 t에서 n 번째의 서브 ESS 충/방전량이고  $C_{n,t}^{S,ess}$  은 단위시간 t에서 메인 ESS로부터 n번째 서브 ESS가 충전받는 전력량이고  $D_{n,t}^{S,ess}$  은 단위 시간 t에서 n번째의 서브 ESS로부터 메인 ESS가 충전받는 전력량이고  $R_{n,t}^{S,ess}$  은 단위 시간 t에서 n 번째의 서브 ESS의 최적 SoC를 유지하기 위해 필요한 전력량이다.

공식 6은 서브 ESS의 최적 SoC를 유지하기 위해 필요로 하는 전력량을 구하는 공식이다.  $SOC_n^{S,ess,p}$  은 단위 시간 t에서 n 번째의 서브 ESS의 최적 SoC이고  $SOC_{n,t}^{S,ess}$  은 단위 시간 t에서 n 번째의 서브 ESS의 SoC 이다.

공식 7은 서브 ESS가 충전 받는 전력량을 결정기준을 설명한다.  $Ra_{n,t}^{S,ess}$  은 단위시간 t에서 n 번째의 서브 ESS가 필요한 전력량의 비율에 따라 서브 ESS의 최적 SoC를 유지하기 위해 필요한 전력량이고  $D^{Mess,max}$  은 메인 ESS에서 방전할 수 있는 최대 전력량이고  $\sum_{n=1}^N R_{n,t}^{S,ess}$  은 단위 시간 t에서 n번째의 서브 ESS의 최적 SoC를 유지하기 위해 필요한 전력량의 합이다.

$$SW_{n,t}^{S,ess} = \begin{cases} C_{n,t}^{S,ess} & , \text{if } (R_{n,t}^{S,ess} \geq 0) \\ -D_{n,t}^{S,ess} & , \text{if } (R_{n,t}^{S,ess} < 0) \end{cases} \quad (5)$$

$$R_{n,t}^{S,ess} = SOC_n^{S,ess,p} - SOC_{n,t}^{S,ess} \quad (6)$$

$$C_{n,t}^{S,ess} = \begin{cases} Ra_{n,t}^{S,ess} & , \text{if } (D^{Mess,max} \leq \sum_{n=1}^N R_{n,t}^{S,ess}) \\ R_{n,t}^{S,ess} & , \text{if } (D^{Mess,max} > \sum_{n=1}^N R_{n,t}^{S,ess}) \end{cases} \quad (7)$$

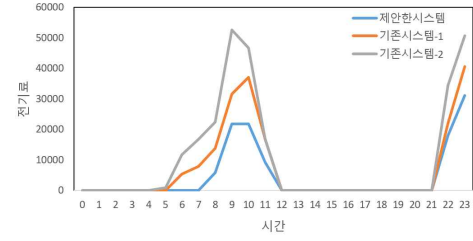
### III. 시뮬레이션

이동가능 부하가 총 출력의 20%로 설정하고 배터리 보호를 위한 메인, 서브 ESS SoC범위는 10%~90%이다. 메인, 서브 ESS SoC는 90%이다. 표 1은 ESS에 대한 설정을 보여준다.

<표 1>

| ESS Assumption  | Value(kW) |
|-----------------|-----------|
| 메인 ESS 용량       | 1000      |
| 서브 ESS 용량       | 1000      |
| $SOC^{Mess,p}$  | 500       |
| $SOC^{S,ess,p}$ | 500       |

전기료는 일반용전력 고압전력(표준전압 3,300V 이상 66,000V 이하 고객)의 계절 및 시간대별 전력요금 [4]을 기준으로 하였습니다. 태양광 발전량 정보는 기상청날씨마루[5] 참고하였다. 시뮬레이션을 위해 사용되는 전력소모량은 Smart Project[6]에서 참고하였다. 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 나왔다.



<그림 2> 시뮬레이션 결과

그림2는 하루 동안 제안한 시스템과 기존시스템 전기료를 보여준다. 기존시스템-1과 기존시스템-2는 하나의 ESS를 가지는 시스템으로 기존 시스템들을 계층적으로 구성하여 제안한 시스템으로 만들면 시뮬레이션 결과처럼 기존시스템들보다 전기료가 적게 나오는 결과를 확인할 수 있다.

### IV. 결론

본 논문은 각 ESS들을 계층적으로 구성하여 각 ESS들이 최적 SoC를 유지하면서 전기료를 최소화하는 시스템을 제안한다. 계층적으로 구성되는 ESS들은 하나의 메인 ESS와 여러개의 서브 ESS로 구성하고 위의 수식을 종합하여 서브 ESS가 전력이 필요할때는 메인 ESS로부터 전력을 받아와 서브 ESS의 최적 SoC를 유지하고 메인 ESS가 전력이 필요할때는 서브 ESS들로부터 전력을 받아 충전하거나 서브 ESS로부터 전력을 받지 못할 때에는 전력을 전력공급자에게 구매하여 전기료를 낮출수 있다는 걸 확인했다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2020R1A6A1A12047945).

이 (성과물)은 중소벤처기업부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국산학연협회(AURI)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2020년 기업연계형연구개발인력양성사업, 과제번호 : S2929950

\* 교신저자 : 최성곤(choisg@cbnu.ac.kr).

### 참 고 문 헌

- [1] M. Higashino, T. Fujimoto, Y. Yamaguchi, Y. Shimoda "Simulation of Home Appliance Use and Electricity Consumption to Quantify Residential Energy Management Resources", [Online] ASim2014 Proceedings, pp. 712-719, Available: [http://www.ibpsa.org/?page\\_id=564](http://www.ibpsa.org/?page_id=564), Nov. 2014.
- [2] Sangjin Kim, Minho Kwon, Sewan Choi, "Operation and Control Strategy of a New Hybrid ESS-UPS System", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 33, issue 6, pp. 4746-4755, June. 2018
- [3] (2019) The UMass website [Online]. Available: <http://traces.cs.umass.edu/index.php/Smart/Smart>
- [4] 한국전력공사 기본공급약관
- [5] <https://bd.kma.go.kr/kma2019/fs/energySelect1.do?pageNum=5&menuCd>
- [6] (2019) The UMass website [Online]. Available: <http://traces.cs.umass.edu/index.php/Smart/Smart>