

Octave를 이용한 전기 요금 최소화를 위한 ESS 운전 전략 최적화 방법에 대한 분석

공은경, 손진만*
호서대학교 전기공학과

An Analysis of Optimal Operation Strategy of ESS to Minimize Electricity Charge Using Octave

Eun Kyoung Gong, Jin-Man Sohn*

Department of Electrical Engineering, Hoseo University

요약 수요관리를 통해 전기요금을 절감할 수 있다. 부하의 수요 관리 방법 중 하나로 ESS를 설치해 수요가 높은 시간대의 부하를 수요가 낮은 시간대로 옮기는 peak shifting을 사용함으로써 최대 부하를 낮추고 전력량 요금을 절감할 수 있다. 전기 요금은 계약 용량 당 기본요금과 전력량 요금으로 이루어져있다. 전력량 요금을 최소화하기 위한 최적화 수행시 목적함수는 선형식으로 표현할 수 있으며, 기본 요금 최소화를 위한 목적함수는 이차식으로 표현할 수 있다. 선형식으로 표현된 목적함수에서는 ESS PCS(Power Conversion System)의 충, 방전 효율이 다른 경우를 다룰 수 없기 때문에 본 논문에서 충, 방전 효율이 다른 경우의 영향을 반영하고 혼합정수계획법(MILP, Mixed Integer Linear Programming)을 이용할 수 있는 정식을 제시하였다. 혼합정수계획법을 사용한 정식에서는 사전에 정해진 최대 부하 절감율에 대해 전기요금 최소화를 수행하게 되지만 최대 부하 절감과 전기요금 절감을 동시에 고려하기 위해서는 이차 계획법을 사용하는 것이 유용하다. 본 논문에서는 각 최적화 방법에 대한 장, 단점을 도시철도 변전소에 대한 시뮬레이션 결과를 정량적으로 비교분석하여 ESS 설비계획수립에 적합한 최적화 방법을 선택할 수 있는 근거를 제시하였다.

Abstract Reductions of the electricity charge are achieved by demand management of the load. The demand management method of the load using ESS involves peak shifting, which shifts from a high demand time to low demand time. By shifting the load, the peak load can be lowered and the energy charge can be saved. Electricity charges consist of the energy charge and the basic charge per contracted capacity. The energy charge and peak load are minimized by Linear Programming (LP) and Quadratic Programming (QP), respectively. On the other hand, each optimization method has its advantages and disadvantages. First, the LP cannot separate the efficiency of the ESS. To solve these problems, the charge and discharge efficiency of the ESS was separated by Mixed Integer Linear Programming (MILP). Nevertheless, both methods have the disadvantages that they must assume the reduction ratio of peak load. Therefore, QP was used to solve this problem. The next step was to optimize the formula combination of QP and LP to minimize the electricity charge. On the other hand, these two methods have disadvantages in that the charge and discharge efficiency of the ESS cannot be separated. This paper proposes an optimization method according to the situation by analyzing quantitatively the advantages and disadvantages of each optimization method.

Keywords : Scheduling of ESS, Linear Programming(LP), Mixed Integer Linear Programming(MILP), Optimization, Quadratic Programming (QP),

*Corresponding Author : Jin-Man Sohn (Hoseo Univ.)

Tel: +82-10-2339-8820 email: jmsohn@hoseo.edu

Received January 26, 2018

Revised April 5, 2018

Accepted April 6, 2018

Published April 30, 2018

1. 서론

최근 환경 문제의 심각성이 커지면서 제한된 에너지를 절약하기 위해 효율적으로 에너지를 이용하는 것이 중요해졌으며, 에너지의 이용 요금을 줄이는 것 역시 큰 관심을 받고 있다. 전기 요금은 계약 용량에 따른 기본요금과 전기 사용량에 따른 전력량 요금으로 이루어져 있어 전기 요금의 절감에는 이 두 가지 요소의 절감이 필요하게 된다. 근래에 전기요금의 최소화를 위한 ESS(Energy Storage System) 설치를 통해 전력량 요금이 높은 구간에서 전력량 요금이 낮은 구간으로 부하를 이전함으로써 전력 소비에 대한 요금을 효율적으로 운용하는 방법에 대한 연구가 진행되었다[1-2]. ESS(Energy Storage System)를 설치하여 효율적으로 운용하였을 경우 최대 부하 이전 (Peak Shifting)을 통해 ESS 설치 전 보다 낮은 계약용량을 가능하게 하고, 그에 따른 기본요금의 절감을 이룰 수 있고, 부하의 이전으로 인한 부하 평균화의 이점이 있다[3-5].

ESS의 효율적 운용을 위한 스케줄링 최적화 방법은 목적 함수의 형태에 따라 선형계획법, 혼합정수계획법 혹은 이차계획법을 사용할 수 있다[6-9]. 본 논문에서는 기본요금의 절감과 전력량요금의 절감에 있어 ESS PCS(Power Conversion System) 효율의 영향이 반영된 최적화 정식이 제시되고, 도시철도 변전소 실측 데이터를 기반으로 상용프로그램인 Matlab을 대체할 수 있는 프리웨어인 Octave를 사용하여 모의한 결과를 통해 그 차이를 분석하여 설비계획수립에 적절한 방법을 선택할 수 있는 근거가 제시된다.

2. 본론

전기 요금은 계약 용량에 따른 기본요금과 전력 사용량에 따른 전력량 요금으로 구성된다. 따라서 전기 요금을 최소화하기 위해서는 다음 사항을 고려해야한다. 첫째, 시간대별 전력량 요금이 높은 시간에서 낮은 시간으로 이동시켜 전력 요금을 줄이는 방법이다. 다음으로 최대 부하를 오프 피크 시간으로 이동하여 최대 부하를 줄이는 방법이다. 전력량 요금의 최소화를 위한 목적함수에는 선형계획법이 적합하다. 그러나 선형계획법은 ESS PCS의 충전 및 방전 효율이 동일하다고 가정 한 후

에 사용해야하므로, 충전 및 방전 효율이 다른 경우를 다루기 위한 목적함수 구성에는 혼합정수계획법이 유용하다. 한편, 최대부하의 오프피크 시간대로의 이동을 위한 목적함수에는 이차계획법이 유용하다.

2.1 시간대별 전력량 요금의 최소화

전력량 요금의 최소화를 위하여 전력량 요금이 비싼 시간대의 부하를 전력량 요금이 싼 시간대로 이동하도록 ESS를 운용하여야 한다. 전력량 요금을 최소화하기 위한 목적함수는 식(1)과 같다.

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [C^{n,t} \cdot P^{n,t}] \quad (1)$$

여기서,

$C^{n,t}$: n일 t시간대의 전력량 요금[원]

$P^{n,t}$: n일 t시간대의 요금 적용 전력량[kWh].

식(2)와 식(3)은 식(1)의 제약 조건인 ESS의 충전 상태를 표현하며, 식(3)의 초기 값은 식(4)로 주어진다.

$$P^{n,t} = d^{n,t} + p_{ESS}^{n,t} \quad (2)$$

$$SoC^t = SoC^{t-1} + eff \cdot \frac{p_{ESS}^{n,t} \times \frac{24}{T}}{P_{ESS}^{cap}} \quad (3)$$

$$SoC^0 = SoC^{n,t} = \alpha (SoC^{max} - SoC^{min}) \quad (4)$$

여기서,

$d^{n,t}$: n일 t시간대의 부하량[kW]

$p_{ESS}^{n,t}$: n일 t시간대의 ESS 충/방전량

SoC^t : t 시각의 SoC (State of Charge)[%]

eff : ESS PCS의 충,방전 효율[%]

P_{ESS}^{cap} : ESS 총 용량[kW]

SoC^0 : SoC 초기 값

α : 충전을 비례상수

SoC^{max} : 최대 충전 시 SoC

SoC^{min} : 최대 방전 시 SoC.

ESS와 SoC의 최대 및 최소 제약 조건은 식(5)와 (6)으로 표현된다.

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

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

여기서,

p_{ESS}^{max} : ESS PCS의 최대 충전전력[kW]

p_{ESS}^{min} : ESS PCS의 최대 방전전력[kW]

p_{ESS}^t : t시간대의 ESS PCS 충/방전 전력[kW].

한편, ESS PCS의 충,방전 효율이 다른 경우에 대한 영향분석을 위해서 정수 변수를 추가해야하며, 이를 반영하면 식(5)는 식(7)~식(9)로 변경된다.

$$0 \leq p_{ESS}^t \leq y^t \cdot p_{ESS}^{max} \quad (7)$$

$$0 \leq p_{ESS}^t \leq z^t \cdot p_{ESS}^{min} \quad (8)$$

$$0 \leq y^t + z^t \leq 1 \quad (9)$$

여기서,

y^t : t 시간의 ESS의 충전 상태를 나타내는 이진 변수 (0/1).

z^t : t 시간의 ESS의 방전 상태를 나타내는 이진 변수 (0/1).

또한, 충전 및 방전시의 효율이 다른 것을 고려하여 식(3)의 효율은 식(10)과 같이 충전 효율 및 방전 효율을 반영하여 표현할 수 있다.

$$SoC^t = SoC^{t-1} + \eta_{cha} \cdot \frac{p_{ESS}^{n,t} \times \frac{24}{T}}{p_{ESS}^{cap}} - \eta_{dis} \cdot \frac{p_{ESS}^{n,t} \times \frac{24}{T}}{p_{ESS}^{cap}} \quad (10)$$

여기서,

η_{cha} : ESS PCS의 충전 효율[%]

η_{dis} : ESS PCS의 방전 효율[%].

2.2 최대부하의 절감에 따른 기본요금 최소화

기본요금을 최소화하기 위하여 최대부하를 오프 피크 시간대로 이동하도록 ESS를 운용하여야 한다. 기본요금을 최소화하기 위한 목적함수는 식(11)과 같다.

$$\min \sum_{m=1}^M C_{base} \cdot p^{max,m} \quad (11)$$

여기서,

C_{base} : 기본 요금[원/kW]

$p^{max,m}$: m월 최대 사용 전력량 (계약 용량).

식(11)에서 특정월에 대한 ESS의 계산과 시간대별 부하 일별로 수행하면 식(12)와 같이 나타낼 수 있다[8].

$$\min p^{max,m} = \min \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (P^{n,t} - p^{mean,n})^2 \quad (12)$$

여기서,

$p^{n,t}$: m월 n일 t시간대 사용 전력량

$p^{mean,n}$: n일 평균 사용 전력량.

2.3 전력량 요금과 기본요금으로 구성된 전기 요금의 최소화

앞에서 언급한 최적화 방법은 각각 고려하는 조건이 다르다. 그러나 전기 요금을 최소화하기 위해서는 전력량 요금과 기본요금을 동시에 최소화해야한다. 따라서 식(11)와 식(12)에 의해 목적 함수는 식(13)으로 표현된다.

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (P^{n,t} - p^{mean,n})^2 + [C^{n,t} \cdot P^{n,t}] \quad (13)$$

3. 결과

ESS PCS의 최대 충전량 및 최대 방전량은 모두 1,000[kW], ESS 용량은 2,000[kWh]인 경우에 24시간을 15분 간격으로 나눈 96구간에 대해 α 는 0.2로 설정한 후 GNU Octave Forge optim package를 사용하여 1주일의 부하에 대하여 모의하였다. 이 때, 부하데이터는 남광주 도시철도 변전소의 12개월 실측데이터에서 부하 변화가 상대적으로 큰 1월 데이터를 사용하였다[8]. 1월 데이터를 시간대별 전력량 요금의 최소화, 최대 부하의 절감에 따른 기본요금의 최소화 및 전력량 요금과 기본요금으로 구성된 전기요금의 최소화로 구분하여 모의하였으며, 그 결과에 대한 비교분석을 수행하였다.

3.1 시간대별 전력량 요금의 최소화

3.1.1 ESS PCS의 충전 및 방전 효율이 100%일 때

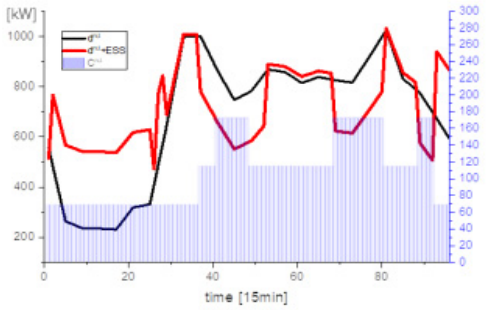


Fig. 1. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.1.1".

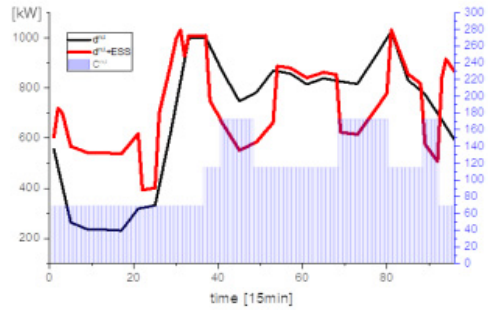


Fig. 3. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.2". ($eff=100\%$)

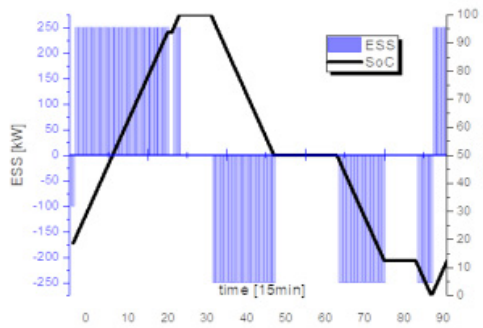


Fig. 2. The charge/discharge amount of ESS and SoC in "3.1.1"

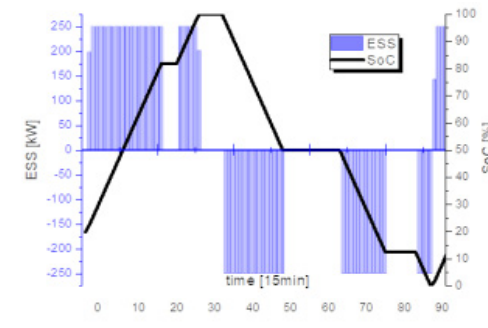


Fig. 4. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.1.2". ($eff=100\%$)

Fig.1은 ESS를 설치 한 후 전력량 요금을 최소화하기 위해 식(1)에 대해 식(3)을 이용한 최적화 수행 결과를 나타낸 그림이다. ESS의 설치 후의 전력 사용량인 $d^{n,t} + ESS$ 가 시간대별 전력량 요금인 $C^{n,t}$ 보다 크면 방전을 하고 작으면 충전을 하는 결과를 보여준다. 한편, Fig.2에서 시간대별 전력량 요금이 가장 높은 구간인 30~40구간, 64~70구간 및 84~88구간에서 방전이 되는 것을 볼 수 있다.

3.1.2 ESS PCS의 충전 및 방전 효율이 서로 다를 때

1) ESS PCS의 충전, 방전 효율이 100%로 동일할 때
3.1.1의 경우와 비교하기 위하여 ESS PCS의 충,방전 효율을 100%로 동일하게 설정하고 식(1)에 대해 식(10)을 이용하여 최적화를 수행한 후 비교하였다. 동일한 조건하에서 각각의 최종적인 목적 함수 값이 서로 동일하게 계산되었으나, Fig.4와 Fig.2를 비교해보면 서로 다른

충,방전 패턴을 보이므로 서로 다른 최적해가 구해진 경우로 해석된다.

2) ESS PCS의 충전효율이 90%이고 방전 효율이 70%일 때

Fig.5와 Fig.6은 ESS PCS의 충전 효율이 90%이고 방전 효율이 70%로 설정하였을 경우의 시뮬레이션 결과이다. 이 경우 Fig.6에서 Fig.4의 ESS 충, 방전 상태를 나타내는 막대그래프 보다 충전과 방전의 빈도가 53~68 구간에서 더 많은 것을 볼 수 있다. 이는 충, 방전 효율이 다르게 적용되는 것이 SoC에 영향을 주기 때문이다.

3) ESS PCS의 충전, 방전 효율이 80%로 동일 할 때

Fig.7과 Fig.8은 Fig.5와 Fig.6의 경우와 달리 ESS PCS의 충, 방전 효율을 평균값인 80%로 동일하게 설정하여 최적화를 진행하였을 때의 결과이다. 충,방전 효율이 각각 10%씩 차이가 나기 때문에 Fig.8에서 Fig.6에

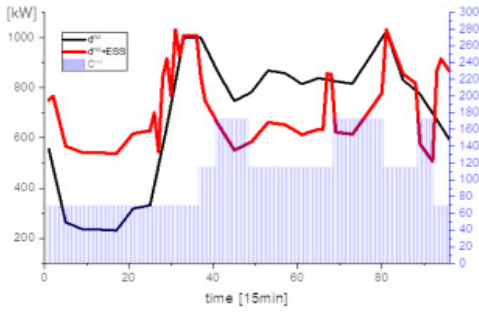


Fig. 5. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "Case 2". ($eff^{chr}=90\%$, $eff^{dis}=70\%$)

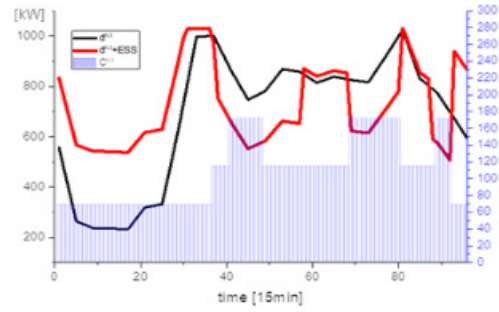


Fig. 7. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.2". ($eff=80\%$)

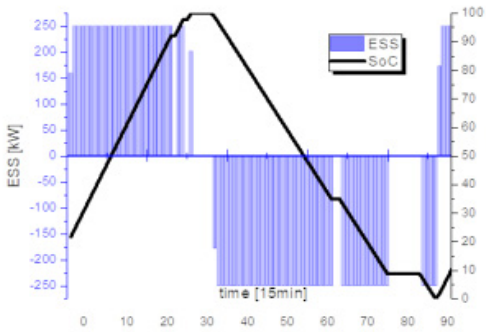


Fig. 6. The charge/discharge amount of ESS and SoC in "3.1.2". ($eff^{chr}=90\%$, $eff^{dis}=70\%$)

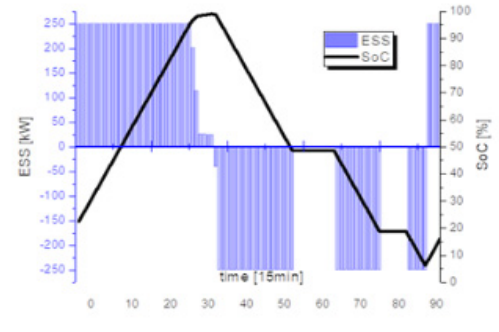


Fig. 8. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.1.2" ($eff=80\%$)

비해 ESS의 충, 방전 상태를 나타내는 그래프의 면적이 58~69구간에서 달라진 것을 확인 할 수 있다. 또 효율이 SoC에 영향을 주기 때문에 그 기울기에서 차이가 보인다.

3.2 최대 부하의 절감에 의한 기본요금의 최소화

최대 부하를 줄이기 위해 식 (11)의 우변에 대한 최적화가 수행되었고 결과는 Fig.9과 Fig.10에 나타내었다. Fig.9의 ' $d^{m,t}$ '의 최대 점은 1024.32 [kW]이고 ' $d^{m,t} + ESS$ '의 최대점은 907.68 [kW]이다. 따라서 최대점은 ' $d^{m,t}$ '의 최대점보다 약 15% 낮다.

그러나 이 경우 역시 ESS의 충, 방전 효율을 분리해서 설정할 수 없는 단점을 가지고 있기 때문에 ESS의 충, 방전 효율을 100%로 동일하다고 가정하였다.

3.3 전력량 요금과 기본요금으로 구성된 전기 요금 최소화

3.1.1과 3.2의 두 가지 목적함수를 결합한 전기 요금의 최소화 결과를 Fig.11과 Fig.12에 나타내었다. 여기서 선형계획법의 목적 함수가 이차계획법의 목적 함수와 병합되면 이차계획법의 형태가 되고 ESS PCS의 충전 및 방전 효율은 동일한 값으로 설정해야한다. 또, 목적 함수가 이차계획법의 형태이기 때문에 최대 부하의 절감을 고려할 필요가 없다. 3.2의 경우와 목적 함수의 형태가 비슷하고 나머지 제약 조건들이 모두 같기 때문에 ESS의 충,방전 패턴과 SoC의 형태가 비슷하게 보인다. 그러나 Fig.10과 Fig.12를 비교해 보았을 때 34 구간부터 미세하게 패턴이 다르기 때문에 결과 값이 다르게 도출되었다.

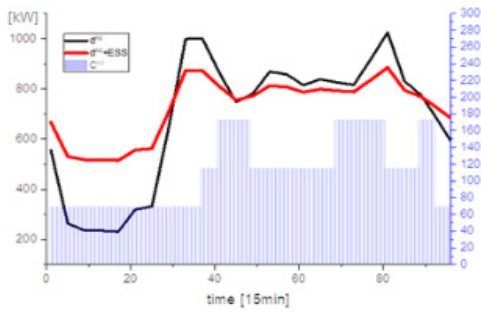


Fig. 9. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.2".

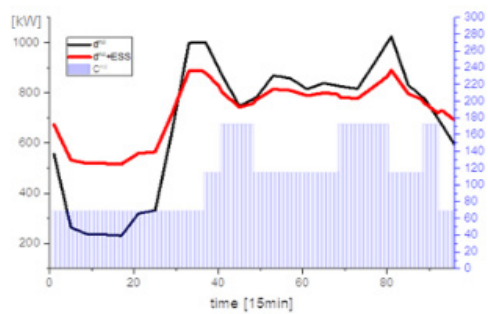


Fig. 11. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.3".

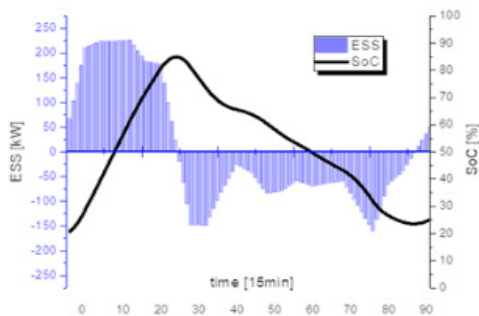


Fig. 10. The charge/discharge amount of ESS and SoC in "3.2".

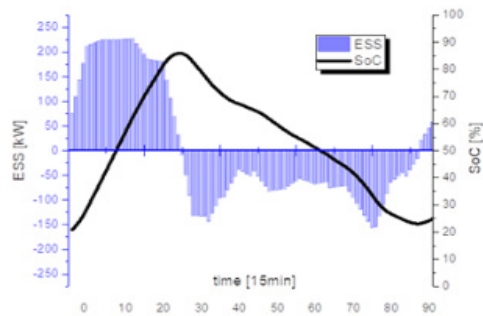


Fig. 12. Power usage according to time zone cost before and after ESS installation in "3.3".

Table.1과 Table.2는 모든 경우의 최적화 결과를 표로 표현한 것이다. 전력량 요금의 절감만 고려한 3.1.1의 경우 전력량 요금은 9.11% 좋아진 반면에 피크 부하의 절감율이 크지 않기 때문에 기본요금의 절감율은 낮게 나왔다. 한편, 충방전 효율이 다른 경우를 고려하지 않은 3.1.1의 선형계획법을 적용한 결과와 충방전 효율이 다른 경우를 고려하여 혼합정수계획법을 적용한 3.1.2와 비교하기 위해 우선 ESS PCS의 충, 방전 효율을 100%로 동일하게 설정한 경우에는 전력량 요금의 절감율이 동일하여 제안된 정식이 서로 일치하는 것을 확인할 수 있다. 한편, 3.1.2에서 ESS의 충전 및 방전 효율이 각각 90% 및 70%로 다른 경우의 결과와 ESS PCS의 충전 및 방전 효율이 평균값인 80%로 동일한 경우의 결과를 비교해 보면 충전 및 방전 효율이 다르게 모의한 경우의 절감율이 더 높게 나타난다. 따라서 충전 및 방전효율이 다른 경우에는 본 논문에서 이를 반영한 혼합정수계획법을 통하여 최적해를 구하는 것이 전기 요금의 절감에 더 효과적이다. 최대부하의 절감만을 고려해 이차계획법을

사용한 3.2의 경우에는 기본요금에 15.32% 절감되었으며, 이 때 부차적으로 전력량 요금은 4.18% 절감되었다. 전력량요금과 최대부하의 절감을 모두 고려한 3.3의 경우에는 피크 부하의 절감이 17.68% 이루어졌고 전력량 요금의 경우에는 최대부하의 절감만을 고려해 이차계획법을 사용한 3.2보다 약 0.08% 더 절감된 4.36%의 절감율을 보인다. 최대부하의 절감만 고려한 3.2와 최대부하와 전력량 요금의 절감을 모두 고려한 3.3에서 전력량 요금이 전력량요금의 절감만 고려한 3.1의 경우보다 미비하게 절감된 것은 피크 부하의 절감이 최적화의 제약 조건에 영향을 미치게 되면서 PCS 용량을 제한하게 되기 때문이다. 즉, 전력량요금만 고려한 3.1에서는 ESS의 용량에 대한 설비가격을 고려하지 않고 단지 설치된 ESS의 용량을 활용하게 되는 것이므로 이를 고려하면 최대부하의 절감을 함께 고려하는 것이 실제로 더 큰 절감 효과가 있을 것이다.

Table 1. Industrial electricity charge for 1 week [\\$].

	without ESS (1)	with ESS using LP [3.1.1]	with ESS using MILP [3.1.2]			with ESS using QP [3.2]	Combination of [3.1.1] and [3.2] [3.3]
			$eff=100\%$	$eff^{chr}=90\%$, $eff^{dis}=70\%$	$eff=80\%$		
basic	6109.5	6109.5	6109.5	6109.5	6109.5	5173.7	5029.3
energy	48389.2	43982.1	43982.1	45417.9	46327.8	46368.7	46280.7
total	54498.7	50091.7	50091.7	51527.4	52437.3	51542.4	51310.0
[total - (1)]		4407.0	4407.0	2971.3	2061.4	2021.3	2109.4

Table 2. Electricity charge reduction rate[%].

	without ESS	with ESS using LP [3.1.1]	with ESS using MILP [3.1.2]			with ESS using QP [3.2]	Combination of [3.1.1] and [3.2] [3.3]
			$eff=100\%$	$eff^{chr}=90\%$, $eff^{dis}=70\%$	$eff=80\%$		
max	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-15.32	-17.68
basic	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-15.32	-17.68
energy	100.00	-9.11	-9.11	-6.14	-4.26	-4.18	-4.36
total		-8.09	-8.09	-5.45	-3.78	-5.42	-5.85

4. 결론

본 논문에서는 전기 요금을 최소화하고 결과를 정량적으로 비교하기 위한 여러 가지 최적화 방법으로 시뮬레이션을 진행하였다. 선형계획법을 사용한 전력량 요금의 최소화, 그리고, ESS PCS의 충, 방전 효율의 영향을 반영할 수 있는 최적화 정식을 제시하고, 이를 혼합정수 계획법을 사용한 전력량 요금의 최소화를 통한 비교분석을 하였다. 또한 최대부하의 제한을 단독으로 고려하거나 전기요금의 최소화와 함께 고려하기 위하여 이차계획법을 사용하지만, ESS PCS의 충전 및 방전 효율이 다른 경우 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다. 각 최적화 기법을 이용한 ESS 운전 최적화를 통해 전기 요금 절감 결과를 얻을 수 있었으며, ESS PCS의 충전 및 방전 효율이 다른 경우에 대비한 정량적 비교 분석결과를 제시함으로써 ESS 설비계획수립에 적합한 최적화 방법을 선택할 수 있는 근거로 활용될 수 있을 것이다.

References

[1] S. U. Agamah and L. Ekonomou, "Peak demand shaving and load-levelling using a combination of bin packing and subset sum algorithms for electrical energy storage system scheduling," *IET Science, Measurement &*

Technology, vol. 10, no. 5, pp. 477-484, 201.
DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2015.0218>

[2] I. E. Commission, "Electrical energy storage white paper," *Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission*, 2011.

[3] I. Papic, "Simulation model for discharging a lead-acid battery energy storage system for load leveling," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 21, no. 2, pp. 608-615, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2005.853746>

[4] A. Purvins, I. T. Papaioannou, and L. Debarberis, "Application of battery-based storage systems in household-demand smoothing in electricity-distribution grids," *Energy conversion and management*, vol. 65, pp. 272-284, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.018>

[5] Z. Zhu, J. Tang, S. Lambotheran, W. H. Chin, and Z. Fan, "An integer linear programming based optimization for home demand-side management in smart grid," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012 IEEE PES, pp. 1-5: 2012.

[6] M. K. Gharigh, M. S. S. Abad, J. Nokhbehzaem, and A. Safdarian, "Optimal sizing of distributed energy storage in distribution systems," in *Smart Grid Conference (SGC) IEEE.*, pp. 60-65, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/SGC.2015.7857391>

[7] D. P. Kothari, "Power system optimization," in *Computational Intelligence and Signal Processing (CISP)*, 2012 2nd National Conference on IEEE., pp. 18-21, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1109/NCCISP.2012.6189669>

[8] Jae-Haeng Heo, Seungkwon Shin, Jong-young Park and Hyeongig Kim, "Study on the Optimal Operation of ESS Considering Urban Railway Load Characteristic," *The*

Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers., vol. 64, no. 10, pp. 1508-1516, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.10.1508>

- [9] D. Maly and K. Kwan, "Optimal battery energy storage system (BESS) charge scheduling with dynamic programming," *IEEE Proceedings-Science, Measurement and Technology*, vol. 142, no. 6, pp. 453-458, 1995.
DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-smt:19951929>

공 은 경(Eun Kyoung Gong)

[준회원]



- 2016년 2월 : 호서대학교 전기공학과 (전기공학학사)
- 2018년 2월 : 호서대학교 전기공학과 (전기공학석사)

<관심분야>

분산전원운영 및 전력계통분석

손 진 만(Jin-Man Sohn)

[정회원]



- 1994년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (전기공학학사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (전기공학석사)
- 2006년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (전기공학박사)
- 1996년 3월 ~ 2006년 2월 : 현대건설

- 2006년 3월 ~ 2014년 2월 : LS산전
- 2014년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 전기공학과 부교수

<관심분야>

마이크로그리드 에너지 관리 시스템 및 전력계통해석