

연축전지와 리튬이온전지용 하이브리드 ESS의 최적구성방안에 관한 연구

A Study on Estimation Method for Optimal Composition Rate of Hybrid ESS Using Lead-acid and Lithium-ion Batteries

박수영* · 유상원* · 박재범* · 김병기* · 김미영* · 노대석†

(Soo-Young Park · Sang-Won Ryu · Jae-Bum Park · Byung-Ki Kim · Mi-Young Kim · Dae-Seok Rho)

Abstract - The large scaled lead-acid battery is widely used for efficient operation of the photovoltaic system in many islands. However, lithium-ion battery is now being introduced to mitigate the fluctuation of wind power and to replace lead-acid battery. Therefore, hybrid ESS(Energy Storage system) that combines lithium-ion battery with lead-acid battery is being required because lithium-ion battery is costly in present stage. Under this circumstance, this paper presents the optimal algorithm to create composition rate of hybrid ESS by considering fixed and variable costs in order to maximize advantage of each battery. With minimization of total cost including fixed and variable costs, the optimal composition rate can be calculated based on the various scenarios such as load variation, life cycle and cost trend. From simulation results, it is confirmed that the proposed algorithms are an effective tool to produce a optimal composition rate.

Key Words : Hybrid ESS, Lead-acid battery, Lithium-ion battery, Optimal composition rate, Load variation type, Fixed cost, Variable cost

1. 서 론

현재 우리나라에서 사람이 거주하는 약 510여 곳의 도서지역 중, 230여 곳은 한국전력공사의 전력계통으로부터 전기를 공급받고 있으며, 280여 곳은 독립계통으로 운용되고 있다.[1] 자체적으로 전력을 공급하는 도서지역에서는 디젤발전기를 이용하여 전력을 생산하고 있으나, 유류를 사용하므로 연료 수송, 유지보수 그리고 환경오염 등에 대한 문제점을 가지고 있다. 그러므로 무공해 자연에너지로 전력을 생산할 수 있는 태양광 및 풍력 등의 신재생에너지를 도입하여, 디젤발전기의 비중을 줄이고 있는 실정이다. 이러한 신재생에너지의 효율적인 운용과 유지관리를 위하여, 이차전지를 이용하는 기술들이 제안되고 있다. 이에 따라 대부분의 도서지역에서는 태양광발전의 출력제어용으로 도입비용이 저렴한 대용량 연축전지가 많이 사용되고 있으나, 유지보수, 수명 등에 많은 약점을 가지고 있다.[2] 또한, 풍력발전의 도입 및 연축전지 교체로 인하여 성능이 탁월한 리튬이온전지의 도입이 필요하지만 비용 측면에서 문제점을 가지고 있어, 기존의 연축전지와 조합된 하이브리드 전기저장장치(Hybrid Energy Storage system, 이하 Hybrid ESS)의 기술개발이 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 연축전지와 리튬이온전지의 장점을 최대한 활용하기 위하여, 각 전지의 도입비용(Fixed cost)과 운용비용(Variable cost)에 따른 최적 구성비를 산출하는 하이브리드 ESS의 운용 알고리즘을 제안한다. 상기의 알고리즘을 이용하여 다양한 시나리오(각 전지에 대한 수명 및 단가의 변동)에서 시뮬레이션을 수행한 결과, 각 전지의 도입비용과 운용비용이 최소화 되는 운용조건에서 최적 구성비를 구하는 방안을 제시하여, 본 논문에서 제안한 하이브리드 ESS의 최적구성방안에 대한 유용성을 확인하였다.

2. 하이브리드 ESS 구성

2.1 연축전지와 리튬이온전지의 특성

2.1.1 수명특성

D사와 S사에서 제시한 각전지의 수명은 표 1과 같이, 정격 C-rate 대비 높은 C-rate로 운용하게 되면, 제조사에서 제시한 정격수명보다 감소하는 특성을 가지고 있다. 여기서, 운용 C-rate가 높아질수록 연축전지 수명은 급격히 감소하는 반면, 리튬이온전지 수명은 비교적 완만하게 감소하게 됨을 알 수 있다. 즉, 각 전지를 동일한 C-rate에서 운용하는 경우, 리튬이온전지는 연축전지보다 약 4배~6배의 수명을 가지고 있다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology & Education, Korea.
E-mail : dsrho@koreatech.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology & Education, Korea.

Received : November 5, 2015; Accepted : April 12, 2016

표 1 각 전지의 C-rate별 수명

Table 1 Life cycles according to C-rate

배터리 종류	배터리 수명(Cycle)		
	0.25C-rate	0.5C-rate	1C-rate
연축전지	1200	1000	600
리튬전지	5000	4500	4000

2.1.2 비용특성

한국전지산업협회에서 제시한 연축전지 및 리튬이온전지의 가격하락 추이 및 전망은 그림 1과 같으며, 2015년의 연축전지 kWh당 단가는 약 10만원으로 비용 측면에서 장점을 가지고 있고 리튬이온전지의 kWh당 단가는 약 70만원으로 아직까진 비용 측면에서 약점을 가지고 있다.[3] 연축전지는 1900년대 초반부터 오랜 기간 사용하여 최근에는 단가변동이 거의 없는 추세이며, 리튬이온전지는 차세대 전지로서 꾸준히 성능향상과 시장규모가 늘어나고 있어 매년 단가가 급격히 하락하고 있음을 알 수 있다.

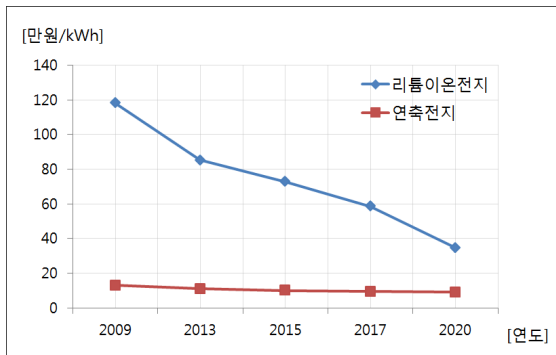


그림 1 각 배터리의 단가변동 추이
Fig. 1 Cost trends of batteries

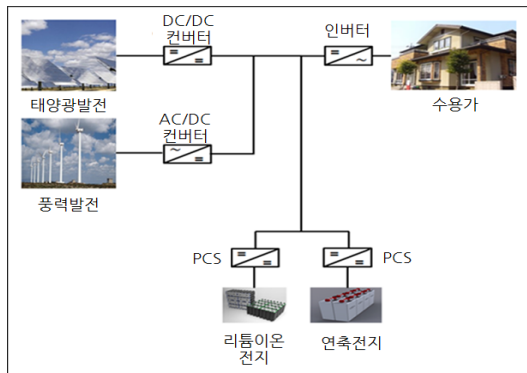


그림 2 독립계통용 하이브리드 ESS의 개념
Fig. 2 Hybrid ESS installed in off-grid

2.2 하이브리드 ESS의 특성

그림 2는 독립계통에 적용된 하이브리드 ESS의 개념을 나타내며, 수명특성 및 비용특성 고려 시, 연축전지는 비교적 출력변동이 작은 태양광발전의 출력을 담당하고, 리튬이온전지는 출력변동이 큰 풍력발전의 출력을 담당할 수 있다. 즉 하이브리드 ESS는 용도에 따른 각 전지의 장점을 최대한 활용하여 적은 비용으로 큰 효과를 기대할 수 있는 장치이다.

3. 하이브리드 ESS의 최적구성 알고리즘

3.1 목적함수의 정식화

2장에서 언급한 리튬이온전지의 수명에 대한 장점 및 연축전지의 단가에 대한 장점을 최대한 활용하기 위하여, 각 전지의 고정비용과 운용비용을 최소로 하는 하이브리드 ESS의 최적구성 알고리즘을 제안하며, 그 목적함수는 식 (1)과 같다.

$$MinF = k_1 \sum_{i=1}^n a_i x_i w_i + k_2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{a_i y_{ij} w_{ij}}{c_{ij}} \quad (1)$$

$$Subj. \text{ to } X = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} \quad (2)$$

- 여기서, F : 전지의 고정비용과 운용비용의 총합 [원]
- k_1 : 고정비용에 대한 가중치
- k_2 : 운용비용에 대한 가중치
- i : 전지의 종류
- j : 부하의 변동특성(C-rate)
- n : 전지 종류의 개수
- m : 부하 변동특성의 종류
- a_i : i 전지의 kWh당 단가 [원/kWh]
- x_i : i 전지의 정격용량 [kWh]
- w_i : i 전지의 교체빈도계수
- y_{ij} : i 전지의 j 부하변동 특성에 따른 도입용량 [kWh]
- w_{ij} : i 전지의 j 부하변동 특성에 따른 교체빈도계수
- c_{ij} : i 전지의 j 부하변동 특성에 따른 환산수명

제안된 목적함수를 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 식 (1)의 첫 번째 항은 각 전지의 설치 혹은 교체 시 필요한 고정비용을 의미하며, i 전지의 도입용량(x_i)과 단가(a_i) 그리고 수명에 따른 교체횟수(w_i)를 곱하여 산정한다. 즉, C-rate가 높을 경우 연축전지 수명은 급격히 저하되지만 리튬이온전지의 수명은 완만하게 저하되므로, 본 논문에서는 상대적으로 장수명인 리튬이온전지를 기준으로 교체빈도계수를 산정하여 고정비용에 반영한다. 두 번째 항은 부하변동에 따른 각 전지 구성의 수명 특성을 반영한 운용비용을 나타내며, i 전지의 단가와 j 부하변동에 대한 도

입용량(y_{ij}) 및 교체횟수(w_{ij})를 곱한 값에 운용 C-rate에 대한 전지의 환산수명(c_{ij})을 나누어 산정한다. 여기서, 환산수명은 C-rate가 높을 경우 연속전지 수명은 급격히 저하되지만, 상대적으로 리튬이온전지의 수명은 완만하게 저하되는 특성을 반영한 것이다. 즉, 고율방전특성을 가진 리튬이온전지를 급변성 부하에 우선적으로 도입하고, 저율방전특성을 가진 연속전지는 비급변성 부하에 우선적으로 도입하는 경제적인 운용방안을 적용하기 위하여, 본 논문에서는 환산수명을 고려한 비용특성을 운용비용에 반영한다. 또한, 각 항의 k_1 과 k_2 계수는 고정비용과 운용비용에 대한 가중치를 나타낸다. 여기서, 연속전지는 고정비용이 저렴한 반면, 교체 및 유지보수로 인한 운용비용이 증가하며, 리튬이온전지는 고정비용이 고가인 반면, 운용비용이 저렴한 편이다. 따라서 본 논문에서는 각 전지의 고정비용과 운용비용 특성에 따른 감도를 비교하기 위하여 상기의 가중치를 적용한다. 한편, 식 (2)는 목적함수 식 (1)의 제약조건으로, 각 전지의 정격용량 합과 부하의 변동특성에 따라 도입되는 전지용량의 합이 동일하다는 조건을 나타낸 것이다.

3.2 하이브리드 ESS의 최적구성 요소

상기의 목적함수와 같이, 하이브리드 ESS의 최적 구성비를 산정하기 위해서는 각 전지의 수명특성 및 비용특성이 고려되어야 한다. 이들 특성들이 최적 구성비에 미치는 영향에 대한 상세 개념도는 그림 3과 같다. 그림 3의 ①은 각 전지의 구성비에 따른 고정비용을 나타낸 것으로, 연속전지의 교체횟수는 상대적으로 장 수명인 리튬이온전지를 기준으로 산정된 것이다. 한편, 그림 3의 ②는 각 전지의 구성비에 따른 운용비용을 나타낸 것으로, C-rate 운용특성이 우수한 리튬이온전지를 급변성 부하에 사용하면 수명특성을 환산한 운용비용을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 즉, 연속전지를 급변성 부하에 사용한다면 저율방전특성에 의하여 하이브리드 ESS의 전체비용이 급격히 상승하고, 리튬이온전지를 급변성 부하에 사용하면 우수한 고율방전특성에 따라 모든 구성비에서 운용비용을 감소시킬 수 있다. 그리고 그림 3의 ③은 급변성 부하의 비율을 변화시킨 운용비용으로, 전체용량에서 급

변성 부하의 비율이 증가할수록 리튬이온전지 구성비가 그림 3의 ②에 비하여 증가함을 알 수 있다. 또한, 고정비용과 운용비용의 중요도를 해석하기 위하여, 가중치를 변경해보면, 그림 3의 ④와 같이 운용비용에 대한 가중치가 높을수록 리튬이온전지의 구성비율이 증가하게 됨을 알 수 있다.

3.3 하이브리드 ESS의 최적 운용 알고리즘

부하 변동특성에 따른 각 전지의 고정비용과 운용비용을 최소로 하는 최적 구성비를 산정하기 위한 하이브리드 ESS 최적구성 알고리즘의 상세 절차는 아래와 같다.

[Step 1] 먼저 고정비용을 산정하기 위하여, 하이브리드 ESS에 적용된 각 전지의 교체횟수를 구한다. 즉, 각 전지는 수명특성이 서로 다르기 때문에, 기준전지에 대한 상대적인 교체횟수를 산정해야 한다. 여기에서는 장수명인 리튬이온전지의 정격수명을 기준으로 연속전지의 교체횟수(w_i)를 구한다.

[Step 2] [Step 1]에서 구한 각 전지의 수명에 따른 교체횟수와 각 전지의 정격용량(x_i), 단가(a_i)를 이용하여 전체 고정비용을 산정한다.

[Step 3] 운용비용을 산정하기 위하여, 부하 변동특성(j)에 따른 도입용량(y_{ij})이 먼저 결정되어야 하는데, 여기에서는 가장 경제적인 메커니즘(Economic mechanism)을 도입한다. 즉, 고율방전특성을 가진 리튬이온전지를 급변성 부하에 우선적으로 도입하고, 저율방전특성을 가진 연속전지는 비급변성부하에 우선적으로 도입하도록 한다.

[Step 4] 또한, 운용비용 산정을 위하여, 고정비용과 마찬가지로 부하 변동특성에 따른 교체횟수(w_{ij})를 구해야 한다. 즉, 부하 변동특성을 반영한 리튬이온전지의 C-rate별 수명을 연속전지의 C-rate별 수명으로 나누어 w_{ij} 를 산정한다.

[Step 5] 각 전지의 사이클 당 운용비용을 구하기 위하여, 각 전지의 단가(a_i)를 환산수명(c_{ij})으로 나누어 산정한다. 여기서 환산수명은 부하 변동특성에 따른 C-rate별 수명으로 결정된다.

[Step 6] 각 전지의 운용비용은 부하변동에 따른 도입용량(y_{ij})과 단가(a_i), 교체횟수(w_{ij})를 곱한 값을 환산수명(c_{ij})으로 나누어 산정한다.

[Step 7] 한편, 고정비용과 운용비용의 중요도를 평가하기 위하여, 고정비용 가중치(k_1)와 운용비용 가중치(k_2)를 도입한다. 여기서, k_1 은 기준치로서 1로 상정하고, k_2 는 상대적인 값으로 선정하여 목표값(K)까지 증분한다.

[Step 8] 부하 변동특성을 반영한 하이브리드 ESS의 전체 비용은 고정비용과 운용비용을 합하여 계산하게 된다. 여기서 모든 경우의 구성비(R, 부하변동 특성에 대하여 연속전지의 정격용량

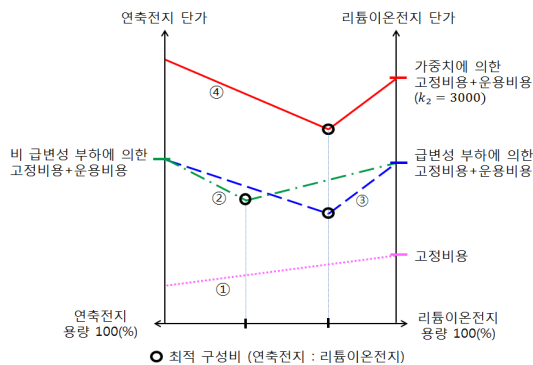


그림 3 하이브리드 ESS의 최적 구성비 개념
Fig. 3 Concept of optimal composition rate

만 도입되는 경우)에서 비용이 최소가 되는 각 전지의 최적 구성비 $\text{Min}[F(r)]$ 을 결정한다.

상기의 절차들을 흐름도로 나타내면 그림 4와 같다.

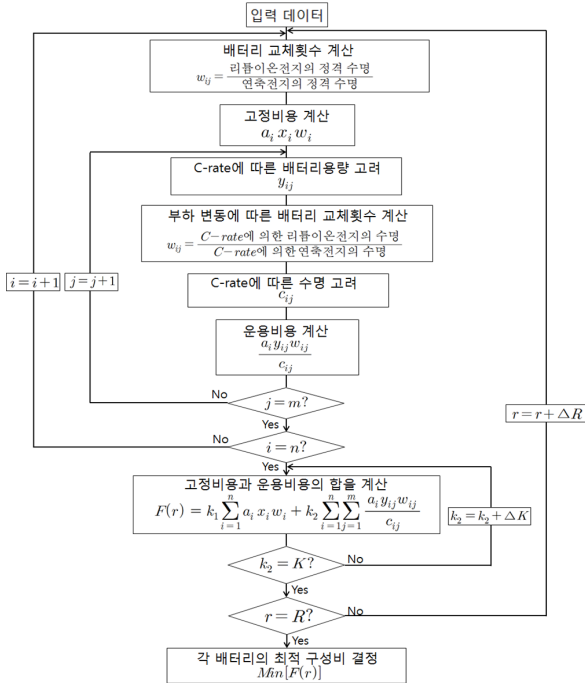


그림 4 최적 구성비 산정 흐름도

Fig. 4 Flowchart calculating optimal composition rate

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 하이브리드 ESS의 최적구성 알고리즘에 따른 최적 구성비를 산정하기 위해서는, 부하용량, 부하 변동특성, 전지용량, 전지 운용조건, 전지수명 및 전지단가에 대한 가정이 필요하다. 전체 부하용량과 전지용량은 각각 600kWh로 가정하며, 부하 변동특성 및 전지 운용조건은 표 2와 같다. 여기서, 부하 변동특성은 급변성, 중간 급변성, 비급변성의 3가지 형태로 구성되며, 전지는 연속전지와 리튬이온전지를 대상으로 하여 부하 변동특성에 따라 서로 다른 C-rate를 적용한다.

표 2 부하변동특성에 따른 배터리 운용조건

Table 2 Operating conditions of battery according to load variation types

부하 타입	비 급변성	중간 급변성	급변성
부하 용량	200kWh	200kWh	200kWh
운용 C-rate	0.25C	0.5C	1C

한편, 전지수명 및 전지단가에 대해서는 그림 1의 kWh당 단가 하락 곡선을 이용하여 연도별 수명상승 및 단가하락 시나리오를 표 3과 같이 가정한다. 여기서, 연속전지의 수명은 정격 C-rate(0.25C)를 기준으로 연간 1% 상승하고, 단가는 연간 2.5% 감소하는 것으로 상정한다. 또한, 리튬이온전지의 연간 수명상승률과 단가 감소율은 각각 10%로 가정한다. 특히 2020년의 리튬이온전지의 수명에 대해서는 기술개발의 포화상태를 고려하여 2019년과 동일한 수명을 적용한다.

표 3 수명특성 및 비용특성에 대한 시나리오

Table 3 Scenarios for cost and life cycle

(a) 연속전지

연도	수명(Cycle)			단가 (원/kWh)
	0.25C-rate	0.5C-rate	1C-rate	
2015	1,500	1,200	750	80,000
2016	1,520	1,220	760	78,000
2017	1,540	1,230	770	76,000
2018	1,560	1,250	780	74,000
2019	1,580	1,260	790	72,000
2020	1,600	1,280	800	70,000

(b) 리튬이온전지

연도	수명(Cycle)			단가 (원/kWh)
	0.25C-rate	0.5C-rate	1C-rate	
2015	5,000	4,500	4,000	700,000
2016	5,500	4,950	4,400	630,000
2017	6,000	5,400	4,800	560,000
2018	6,500	5,850	5,200	490,000
2019	7,000	6,300	5,600	420,000
2020	7,000	6,300	5,600	350,000

4.2 하이브리드 ESS의 최적운용 특성분석

본 절에서는 급변성, 중간 급변성, 비 급변성부하의 비율을 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 5의 구성비를 구하였다. 이 그림은 각 전지의 구성비에 따른 운영비용과 고정비용의 합을 나타낸 것으로, 부하 변동특성에 따라 각 전지의 구성비를 적절하게 조합하면 최소의 비용을 산정할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 연속전지가 67%, 리튬이온전지가 33%가 구성된 경우 최소의 비용이 산정되었다. 따라서 리튬이온전지를 급변성 부하에 사용하면 우수한 고품방전특성에 따라 전체비용을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

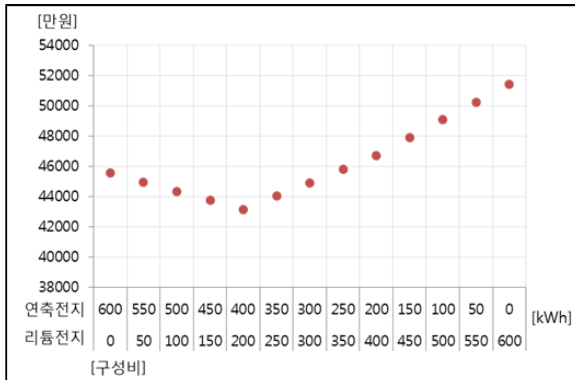


그림 5 경제적인 메커니즘에 따른 최적 구성비
 Fig. 5 Optimal composition rate according to economic mechanism

또한, 그림 6은 각 전지의 C-rate별 방전특성을 고려한 하이브리드 ESS의 최적 구성비를 나타낸 것이다. 여기서, 동그라미(●) 표시는 리튬이온전지가 급변성, 중간 급변성, 비급변성 부하를 가장 경제적인 메커니즘으로 담당하는 경우를 나타낸 것이고, 세모(▲) 표시는 상기와 같은 절차이지만 가장 비 경제적인 메커니즘으로 연속전지가 담당하는 경우를 나타낸 것이다. 이 그림과 같이 저출방전특성을 가진 연속전지가 급변성 부하에 사용되는 경우, 수명감소에 의하여 전체비용이 급격히 증가함을 알 수 있고, 우수한 고출방전특성을 가진 리튬이온전지를 급변성 부하에 사용하면 전체비용을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

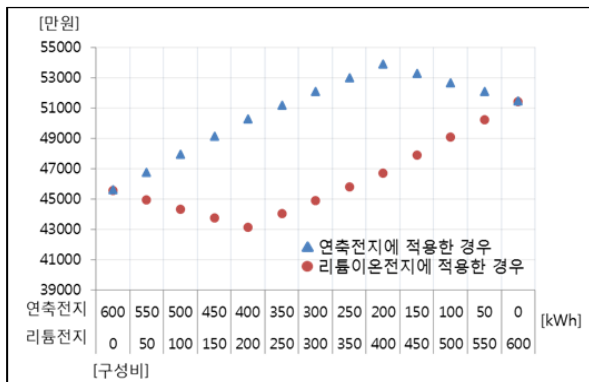


그림 6 경제적 및 비경제적 메커니즘 적용에 따른 최적 구성비
 Fig. 6 Optimal composition rates with and without considering economic mechanism

한편, 그림 7은 급변성 부하의 구성비에 따른 하이브리드 ESS의 최적 구성비를 나타낸 것이다. 동그라미(●) 표시는 급변성, 중간급변성, 비급변성 부하 비율이 200:200:200인 경우이고, 세모(▲) 표시는 400:100:100인 경우의 전체비용을 구한 것이다. 이 그림에서와 같이 급변성 부하의 비율이 증가하면 전체적인 운용비용은 상승하지만, 연속전지에 비하여 리튬이온전지의 구성비

가 33.3%에서 66.6%으로 증가하는 경우 전체비용이 최소가 됨을 알 수 있다.

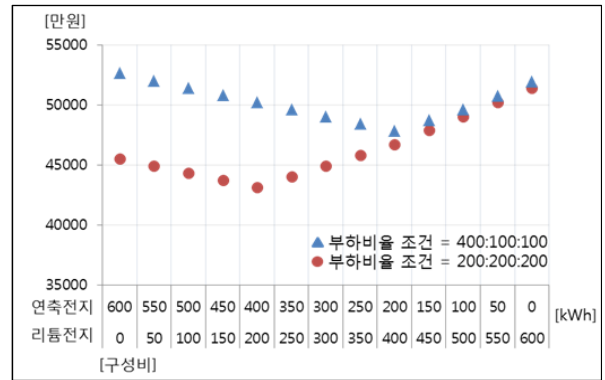
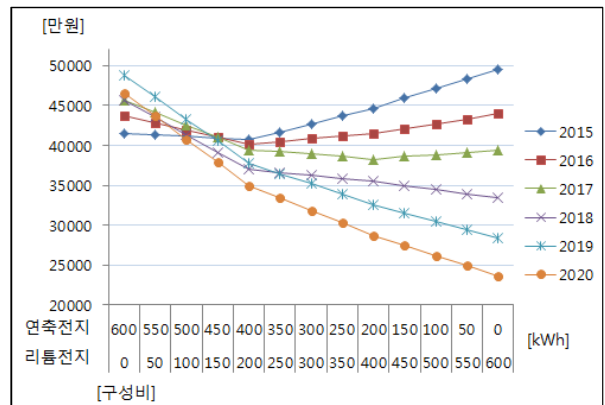
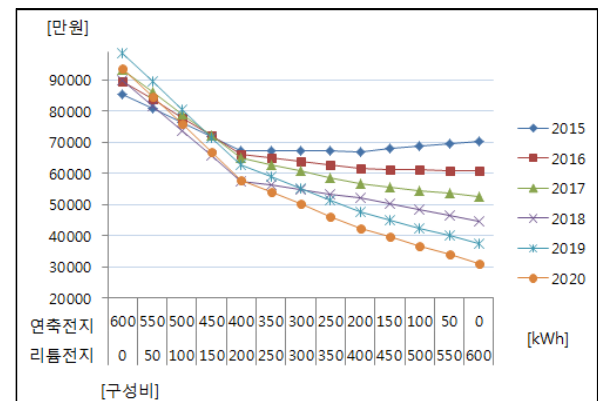


그림 7 급변성 부하 비율 증가에 따른 최적 구성비
 Fig. 7 Optimal composition rate for increasing high variation load



(a) 가중치 1000



(b) 가중치 3000

그림 8 가중치에 따른 연도별 총비용
 Fig. 8 Annual cost according to weighting factors

한편, 고정비와 운용비의 가중치를 변경한 경우에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다. 그림 8의 (a)와 (b)는 연도별 도입비용 시나리오(표 3)에 근거하여 운용비의 가중치를 각각 1000, 3000의 값을 상정한 경우의 하이브리드 ESS의 최적 구성비를 구한 것이다. 가중치 1000을 적용한 경우, 연축전지에 비하여 리튬이온전지 구성비율이 2015년~2017년에 각각 33.3%, 33.3% 66.7%로 증가하고, 전지의 수명증가와 단가하락에 의하여 2018년부터는 리튬이온전지만을 도입하는 것이 가장 경제적인임을 알 수 있었다. 한편, 운용비의 가중치가 3000인 경우에는 리튬이온전지의 구성비율이 2015년에 33.3%이고 2016년부터는 리튬이온전지만을 도입하는 것이 가장 경제적인임을 확인하였다. 운용비용의 중요도를 증가시킬수록 리튬이온전지가 유리함을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 각 전지의 수명특성 및 비용특성을 분석하고, 부하 특성변동에 따른 하이브리드 ESS 최적 운용알고리즘을 제시하였고, 또한 다양한 시나리오별로 시뮬레이션을 수행하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 부하 변동특성에 따른 각 전지의 최적 구성비를 산정하기 위하여, 각 전지의 도입비용과 운용비용의 합을 최소로 하는 하이브리드 ESS의 최적구성 알고리즘을 제안하였다.
- (2) 부하 변동특성에 따라 각 전지의 구성비를 적절하게 조합하면 최소의 비용을 산정할 수 있음을 알 수 있었다.
- (3) 저율방전특성을 가진 연축전지가 급변성 부하에 사용되는 경우, 수명감소에 의하여 전체비용이 급격히 증가함을 알 수 있었고, 우수한 고율방전특성을 가진 리튬이온전지를 급변성 부하에 사용하면 전체비용을 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서, 연축전지 혹은 리튬이온전지만을 단독으로 도입하는 것보다 하이브리드 형태로 도입되는 것이 경제적인임을 알 수 있었다.
- (4) 급변성 부하의 비율이 증가할수록 전체적인 운용비용은 상승하지만, 연축전지에 비하여 리튬이온전지의 구성비가 증가할수록 전체비용이 감소함을 알 수 있었다.

References

- [1] Jongyun Jung and Daeseok Rho, "A Study on the Optimal Design of Hybrid-typed Electrical Energy Storage System (EES)", Journal of KAIS(Korea Academia- Industrial cooperation Society), Vol 15, No 1, pp. 45-47, May, 2014
- [2] Seungtaek Oh and Daeseok Rho, "A Study on the Operation Algorithm of Hybrid-typed Energy Storage System(ESS)", Journal of KAIS, Vol 15, No 1, pp. 48-50, May, 2014
- [3] KBIA(Korea Battery Industry Association), "2013 the large scale lithium-ion secondary battery cost trends and forecast", Mar, 2013
- [4] Sooyoung Park and Daeseok Rho, "A Study on the Optimal Design of Hybrid Battery Management System for Lead-acid and Li-ion Battery", Journal of KAIS, Vol 15, No 1, pp. 48-50, May, 2014
- [5] Daeseok Rho, "A Study on Load leveling effect of the distribution system using the Battery Energy Storage Systems", Fall Conference for Society A of KIEE(Korean Institute of Electrical Engineers), pp. 111-113, Oct, 2012
- [6] "SMART GRID ESS(Electric Energy Storage System)", KSGA(Korea Smart Grid Association), Sep, 2012
- [7] Jukwang Lee and Daeseok Rho, "A Study on the Current Status of Standardization in Electrical Energy Storage System", Journal of KAIS, Vol 14, No 2, pp. 557-559, May, 2013
- [8] Jaebum Park and Daeseok Rho, "A Study on the BMS Design of Lithium-ion Battery for Energy Storage System", Journal of KAIS, Vol 14, No 2, pp. 157-159, May, 2013
- [9] IEEE 308-1991, "IEEE Standard Criteria for Class 1E Power Systems for Nuclear Power Generating Stations"
- [10] IEEE 323-1983, "IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations"
- [11] IEEE 494-1974, "IEEE Standard Method for Identification of Documents Related to Class 1E Equipment and Systems for Nuclear Power Generating Stations"
- [12] IEEE 535-1986, "IEEE Standard for Qualification of Class 1E Lead Storage Batteries for Nuclear Power Generating Stations"

저 자 소 개



박수영 (Soo-young Park)

1988년 3월 23일생. 2013년 호서대학교 전기공학과 졸업. 2016년 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업(석사).

〈관심분야〉

전기에너지저장장치, 분산형 전원, 스마트그리드



유 상 원 (Sang-Won Ryu)

2007년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학 (공학사), 2014년 2월~현재: 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학전공 석사과정 재학중
<관심분야>
배전계통 운용, 신재생에너지



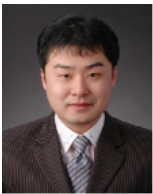
노 대 석 (Dae-Seok Rho)

1964년 2월 21일생. 1985년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987년~1998년 한국전기연구소 연구원/선임연구원. 1999년~현재 한국 기술교육대학교 전기전자통신공학부 정교수로 재직.
<관심분야>
전력/배전계통, 분산전원, 전력품질 해석, 전 기저장장치



박 재 범 (Jea-Bum Park)

1981년 10월 30일생. 2011년 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업. 2014년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년~현재 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중
<관심분야>
전기저장장치, 스마트그리드, 배전계통



김 병 기 (Byung-Ki Kim)

2008년 1월 : 한국기술교육대학교 전기공학 (공학사), 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학전공(공학석사), 2015년 8월 : 동대학원 전기전자통신공학부 전기공학전공(공학박사)
<관심분야>
배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질해석



김 미 영 (Mi-Young Kim)

1971년 8월 5일생. 1994년 충북대학교 물리학과 졸업. 2005년 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업(석사). 2008년 북해도대학교 정보과학연구과 졸업(박사)
<관심분야>
배전계통 운용, 분산형전원, 해상풍력 계통연계, 그리드코드