

연축전지와 리튬이온전지용 하이브리드 BMS 알고리즘 개발

오승택¹, 김병기¹, 박재범¹, 노대석^{1*}

¹한국기술교육대 전기전자통신공학부

Development of Hybrid BMS(Battery Management System) Algorithm for Lead-acid and Lithium-ion battery

Seung-Taek Oh¹, Byung-Ki Kim¹, Jae-Beom Park¹ and Dae-Seok Rho^{1*}

¹Electrical Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 현재 대부분의 도서지역에서는 태양광발전을 효율적으로 운용하기 위하여 대용량 연축전지가 많이 사용되고 있지만, 풍력발전의 도입, 축전지 교체로 인하여 리튬이온전지의 도입이 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존에 많이 보급되어 사용되고 있는 연축전지와 리튬이온전지의 장점을 최대한 활용하기 위하여, 연축전지와 리튬이온전지용 하이브리드 BMS 알고리즘을 제시하였다. 즉, 각 전지의 충전상태(state of charge, SOC)를 평가하는 알고리즘과 각 전지의 도입비용과 운용비용에 따른 최적 구성비를 산출하는 하이브리드 운용 알고리즘을 제안하였다. 상기의 알고리즘을 이용하여 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존의 충전상태 평가 방법보다 오차율이 개선되어 정확한 충전상태에 대한 결과가 산출되었고, 각 전지의 도입비용과 운용비용이 최소화되는 조건에서 최적구성비를 구하여, 본 논문에서 제안한 하이브리드 BMS 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

Abstract Recently, the large scaled lead-acid battery is widely introduced to efficient operation of the photovoltaic system in many islands. but the demand of lithium-ion battery is getting increased by the operation of wind power and replacement of the lead-acid battery. And also, under the renewable portfolio standard(RPS) and energy efficiency resource standard(EERS) policy of Korea government, the introduction of energy storage system(ESS) has been actively increased. Therefore, this paper presents the operation algorithm of hybrid battery management system(BMS) using the lead-acid and lithium-ion batteries, in order to maximize advantage of each battery. In other words, this paper proposed the algorithm of state of charge(SOC) and hybrid operation algorithm to calculate the optimal composition rate considering the fixed cost and operation cost of each battery. From the simulation results, it is confirmed that the proposed algorithms are an effective tool to evaluate SOC and to optimally operate hybrid ESS.

Key Words : Lead-acid battery, Lithium-ion battery, Energy storage system, Hybrid battery management system, State of charge, Operation algorithm

1. 서론

현재 원자력 발전의 안전성 문제, 화석연료 고갈 그리고 정부의 신에너지원의 개발정책에 의하여 신재생에너지원의 효율적인 유지관리기술이 대두되고 있는 상황이며, 이를 해결하기 위해 이차전지를 이용한 여러 기술들

이 제안되고 있다[1,2,3]. 현재 대부분의 도서지역에서는 태양광발전의 출력제어용으로 도입비용이 저렴한 대용량 연축전지가 많이 사용되고 있지만, 보수유지, 수명 등에 많은 약점을 가지고 있다. 또한, 풍력발전의 도입, 축전지 교체로 인하여 리튬이온전지의 도입이 증가되고 있지만 비용 측면에서 문제점을 가지고 있어, 기존의 연축

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Koreatech)

Tel: +82-41-560-1167 email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received November 10, 2014

Revised (1st April 13, 2015, 2nd April 30, 2015)

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

전지와 조합된 하이브리드 전기저장장치의 기술개발이 요구되고 있다[4,5,6,7]. 하지만 기존의 이차전지의 BMS는 개별적인 전지의 상태감시 위주로 사용되고 있어, 하이브리드 전기저장장치에 적용하기 어려운 실정이다[8]. 따라서 본 논문에서는 연축전지와 리튬이온전지의 장점을 최대한 활용하기 위하여, 연축전지와 리튬이온전지용 하이브리드 BMS 알고리즘을 제시하였다. 즉, 각 전지의 충전상태(state of charge, SOC)를 평가하는 알고리즘과 각 전지의 도입비용과 운용비용에 따른 최적구성비를 산출하는 하이브리드 운용 알고리즘을 제안하였다. 상기의 알고리즘을 이용하여 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존의 충전상태 평가 방법보다 오차율이 개선되어 정확한 충전상태에 대한 결과가 산출되었고, 각 전지의 도입비용과 운용비용이 최소화 되는 운용조건에서 최적구성비를 구하여, 본 논문에서 제안한 하이브리드 BMS 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

2. 연축전지의 SOC 평가 알고리즘

2.1 비중 및 온도보정 관계식

연축전지의 기전력은 식 (1)과 같이 전해액의 비중 값에 따라 선형적으로 변화하기 때문에, 전지의 충전상태를 추정하기 위해서는 전해액의 비중 값을 구하는 것이 가장 중요하다. 하지만, 전해액의 비중 값은 전지의 내부 온도에 따라 변화하는 특성을 가지기 때문에, 전지 내부의 온도 특성을 고려하여 오차를 보정한 전해액 비중식이 필요하다. 일반적으로 연축전지의 비중은 전해액의 온도가 20℃에서 완전충전 상태에서 100% 방전의 상태까지 0.2정도가 변동하므로, 식 (2)와 같이 20℃의 온도를 기준으로 보정한 전해액 비중 식을 사용한다. 상기의 온도보정 식을 이용하여 SOC 평가 식을 나타내면, 식 (3)과 같이 표현된다[9,10,11,12].

$$S = E - 0.85 \quad (1)$$

여기서, S : 전해액 비중, E : 기전력

$$S_{20} = S_t + 0.0007(t - 20) \quad (2)$$

여기서, S_{20} : 20℃에서의 비중, S_t : t℃에서의 비중, t : 측정된 전해액 온도, 0.0007 : 1℃ 온도의 변화에 따른 온도계수

$$SOC(\%) = \frac{1.260 - \text{측정된비중}}{0.2} \quad (3)$$

2.2 비중과 열전달식을 이용한 SOC 평가

알고리즘

현재 출시되고 있는 대부분의 연축전지는 밀폐형 타입이므로 전지의 내부 온도를 직접적으로 측정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 축전지 케이스 온도와 외부 온도를 측정하여 축전지의 내부 온도를 파악하는 방안을 제안한다. 이를 위하여 식 (4)와 같이 정상상태에서 대류열전달과 전도열전달이 평형을 이루는 열전달식을 도입하였다.

$$q = hA(T_{case} - T_{\infty}) = \frac{kA}{L}(T_{inside} - T_{case}) \quad (4)$$

여기서, q : 열전달량, h : 대류열전달계수, A : 접촉면 면적, T_{case} : 케이스 온도, T_{∞} : 공기 온도, k : 열전도율, L : 케이스 두께, T_{inside} : 축전지의 내부 온도

기존의 식 (1)의 비중 식과 식 (2)의 온도를 보정한 비중 식 그리고 SOC 평가 식 (3)을 이용하여, 본 논문에서 제안한 식 (4)의 열전달식을 조합하면 식 (5)을 유도할 수 있다. 상기의 식 (5)는 실제 전지의 내부 온도를 보정할 수 있기 때문에, 정확한 비중 값 계산이 가능하며 정확한 충전상태를 평가할 수 있다.

$$SOC = \frac{1.260 - (E - 0.85) + 0.0007 \left\{ \frac{Lh}{k} (T_{case} - T_{\infty}) + T_{case} \right\} - 20}{0.2} \quad (5)$$

여기서, E : 기전력, L : 케이스 두께, h : 대류열전달계수, k : 열전도율, T_{case} : 케이스 온도, T_{∞} : 공기 온도

3. 리튬이온전지의 SOC 평가 알고리즘

기존의 전류 적산(Ah-Counting)법에 의한 충전상태 평가방법은 전류 값을 누적시키므로 누적 값에 대한 오차는 크지 않지만, 전지의 출력상태에 따라서 전류의 변동이 발생하므로 잘못된 전류 값을 누적시킬 수 있다 [13]. 또한, 충·방전을 수행하면서 발생하는 전력손실에 대한 부분을 고려하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 전류의 변동분에 대한 오차를 줄이고 전력손실

에 대한 부분을 고려하기 위하여, 전류누적이 아닌 전력량을 누적시키는 전력량 적산(KWh-Counting)법을 제시하였다. 또한, 전지의 개방전압(open circuit voltage, OCV)과 전력량 적산법을 조합하는 하이브리드 SOC 평가 알고리즘을 제안하였다.

3.1 등가내부저항 추정

일반적인 전지 등가모델은 직렬저항(R_i), 확산현상에 의한 저항(R_p), 이중층의 커패시턴스(C_p) 등으로 모델링된다. 여기서, 각기 다른 내부저항들은 하나의 등가내부저항(R_T)으로 Fig. 1과 같이 치환될 수 있다.

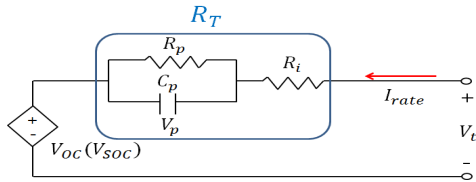


Fig. 1. Equivalent model of battery

한편, 전지의 단자전압은 SOC의 함수로 표현되는 무부하시 단자전압과 C-rate 출력전류와 등가내부저항에 의한 전압의 합으로 식 (6)과 같이 표현된다.

$$V_t = V_{OC}(V_{SOC}) + (R_T \times I_{rate}) \quad (6)$$

여기서, V_t : 전지의 단자전압, $V_{OC}(V_{SOC})$: SOC의 함수로 표현되는 무부하시 전지의 단자전압, I_{rate} : C-rate 전류, R_T : 등가내부저항

상기의 식 (6)을 이용하여 전력손실을 고려한 전지의 출력전력은 식 (7)과 같이 정의되며, 등가내부저항에 의한 전력손실은 식 (8)로 표현할 수 있다. 또한, 전지의 출력전력을 전지의 충·방전전환에 따른 전압의 차이로 표현하면, 최종적인 등가내부저항 식을 식 (9)와 같이 유도할 수 있다.

$$P_t = V_{OC}(V_{SOC}) \times I_{rate} + P_{loss} \quad (7)$$

$$P_{loss} = R_T \times I_{rate}^2 \quad (8)$$

$$R_T = \frac{P_{loss}}{I_{rate}^2} = \frac{V_{Charge} - V_{Discharge}}{I_{rate}} \quad (9)$$

여기서, P_t : 전지의 출력전력, P_{loss} : 등가내부저항에 의한 전력손실, V_{Charge} : 충전전압, $V_{Discharge}$: 방전전압

3.2 전력손실과 전력량 적산을 이용한 SOC 평가 알고리즘

등가내부저항에 의해 발생하는 전력손실량을 고려하여 시간에 따른 전력량을 누적시켜가며, 충·방전된 용량을 구하는 식은 식 (10)과 같다. 또한, 전지의 정격용량에 대하여 식 (10)의 충·방전된 용량을 등분함으로써, 식 (11)과 같이 SOC 평가 식을 정의할 수 있다.

$$Ph_t = \int_{t_0}^t [P_t(t) - P_{loss}(t)] dt \quad (10)$$

$$SOC_{KWh}(\%) = [1 - \frac{Ph_t}{Ph_{rating}}] \times 100 \quad (11)$$

여기서, Ph_t : t시간에 측정된 용량, Ph_{rating} : 정격용량, t_0 : 측정시작시간, t : 측정종료시간

3.3 개방전압과 전력량 적산법을 조합한 SOC 평가 알고리즘

전지의 개방전압을 이용한 충전상태 평가방법으로는 전지의 최소 및 최대 전압의 범위에서 현재 전압을 등분함으로써, 충전상태를 평가하는 방법으로 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SOC_{OCV}(\%) = \frac{V(t) - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100 \quad (12)$$

여기서, $V(t)$: 전지의 현재 전압, V_{max} : 전지의 최대 전압, V_{min} : 전지의 최소 전압

한편, 본 논문에서는 리튬이온전지의 충전상태를 평가하는 방법으로 Fig. 2와 같이, 개방전압과 전력량 적산법을 조합하는 방법을 사용하였다. 즉, 전지의 초기 충전상태를 개방전압을 이용하여 기준 값으로 정의한 후, 전력량을 적산시켜가며 전지의 충전상태를 파악하는 방법이다.

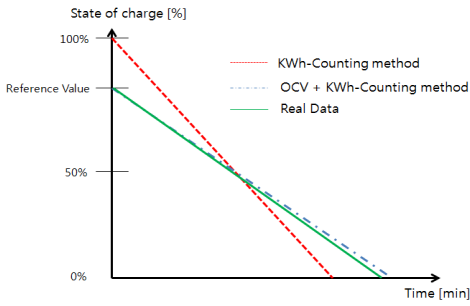


Fig. 2. Proposed SOC evaluation algorithm using OCV and KWh-Counting method

따라서 개방전압과 전력량 적산법을 이용한 하이브리드 SOC 평가 식은 식 (11)과 식 (12)을 조합하여, SOC의 퍼센트 형태로 식 (13)과 같이 표현된다.

$$SOC_{Hybrid}(\%) = SOC_{OCV}(\%) + SOC_{KWh}(\%) \quad (13)$$

여기서, SOC_{Hybrid} : 전지의 총 SOC(%), SOC_{OCV} : 개방전압에 의한 기준 SOC(%), SOC_{KWh} : 전력량 적산법에 의한 누적 SOC(%)

4. 하이브리드 BMS 운용 알고리즘

4.1 목적함수의 정식화

연축전지는 kWh당 단가는 저렴하지만 수명에 대한 약점을 가지고 있고, 리튬이온전지는 수명이 길지만 kWh당 단가가 높다는 단점을 가지고 있다. 따라서 두 전지의 장점을 최대한 활용하기 위하여, 각 전지의 도입비용과 운용비용을 고려하여 최적 구성을 산출하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 각 전지의 최적 구성비를 산출하기 위하여, 각 전지의 도입비용과 운용비용의 합을 최소화하는 목적함수를 식 (14)와 같이 정의하였다.

$$MinF = w_1 \sum_{i=1}^n a_i x_i + w_2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{a_i y_{ij}}{c_{ij}} \quad (14)$$

$$\text{Subj. to } X = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (15)$$

여기서, F : 각 전지의 도입비용과 운용비용의 총합 [원], w_1 : 도입비용에 대한 가중치, w_2 : 운용비용에

대한 가중치, a_i : i 전지의 kWh당 도입비용 [원/kWh], x_i : i 전지의 kWh 용량 [kWh], i : 전지의 종류, j : 부하의 변동특성(C-rate), y_{ij} : i 전지의 j 부하 변동특성에서의 kWh 용량 [kWh], c_{ij} : i 전지의 j 부하변동 특성에서의 환산수명 [Cycles]

식 (14)에서 첫 번째항은 각 전지의 도입용량에 따른 도입비용을 의미하며, 두 번째항은 각 전지의 부하 변동특성에 따른 전체 운용비용을 나타낸다. 여기서, 두 번째항은 부하의 변동특성에 따른 각 전지의 도입용량(y_{ij})과 도입비용(a_i)의 곱을 각 전지의 운용특성에 따른 평균수명(c_{ij})으로 나누어, 각 전지의 수명 특성을 운용비용으로 환산한 값이다. 또한, i 는 연축전지, 리튬이온전지, NaS 전지 등의 전지의 종류를 의미하며, j 는 부하의 변동특성에 대한 전지의 운용 C-rate를 나타낸다.

한편, 식 (15)는 식 (14)의 목적함수를 최소화하기 위한 제약조건식으로 각 전지의 전체용량과 부하의 변동특성에 따라 도입되는 전지의 총 용량은 동일하다는 조건을 나타낸 것이다. 여기서, 부하 변동특성에 대한 전지의 도입용량은 부하의 급변성 정도에 따라 가장 경제적인 전지를 선정한다. 또한, 도입비용에 대한 운용비용의 가중치는 각 전지의 운용 특성 및 사용 연수 등의 변수들을 고려하여 상정한다.

4.2 최적화 평가 알고리즘

상기 목적함수를 최소화하는 조건에서 각 전지의 도입비용과 운용비용에 따른 최적 구성비를 결정하기 위하여, 본 논문에서는 Fig. 3과 같이 최적화 평가 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 각 전지의 부하 변동특성에서의 도입용량(y_{ij})의 조건에 대하여 전체 도입용량(X)을 결정한다.

상기의 전체 도입용량에 대하여 기준 전지를 선정하여 도입용량(x_i)을 100%로 상정한 후, 가중치를 고려하여 도입비용과 운용비용의 합을 계산하여 초기치(F_0)로 가정한다. 다음으로 기준 전지와 각 전지들의 용량을 일정비율(Δx)만큼 변화시키면서, 도입비용과 운용비용을 재계산하여 새로운 비용(F_n)을 산출한다. 여기서, 현재 단계에서 계산된 비용(F_n)이 이전 단계에서 계산된 비용(F_{n-1}) 보다 작다면 경제성이 있음을 의미한다.

한편, 이 과정에서 부하 변동특성에 따라 가장 경제적인 전지의 도입을 우선하며, 기존 전지의 도입용량이 0%가 되는 모든 과정에서 F_n 을 산출한다. 최종적으로, 경제성이 발생하는 $F_n < F_{n-1}$ 의 조건에서 최소비용(F_n)을 출력하여, 각 전지의 최적 구성비를 산출한다.

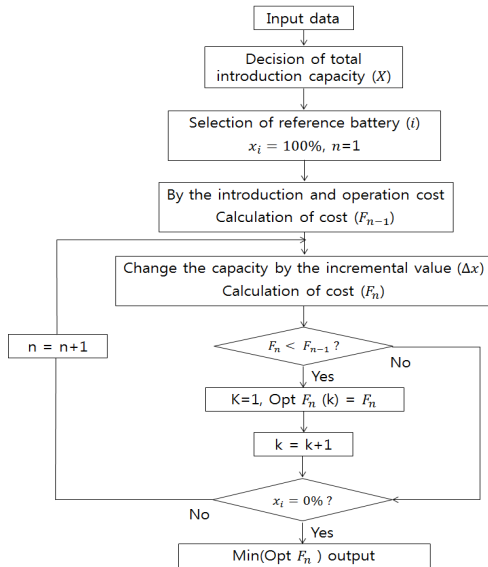


Fig. 3. Evaluation algorithm of optimal introduction rate decision

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 SOC 평가 알고리즘의 분석

5.1.1 비중과 열전달식을 이용한 연속전지의 SOC 평가 알고리즘

기존에 널리 사용되고 있는 전류적산법을 기준으로, 본 논문에서 제안한 SOC 평가 알고리즘과 기존의 SOC 평가 알고리즘의 충전상태 오차율을 비교 분석하였다. 여기서, 200W 저항을 이용하여 연속전지를 방전시킬 경우, Fig. 4와 같이 기존의 온도를 보정하지 않는 방법(오차율 25%)에 비하여 제안한 방법(오차율 11%)의 오차율이 14% 정도 개선되어, 본 논문에서 제안한 SOC 평가 알고리즘의 정확성을 확인하였다.

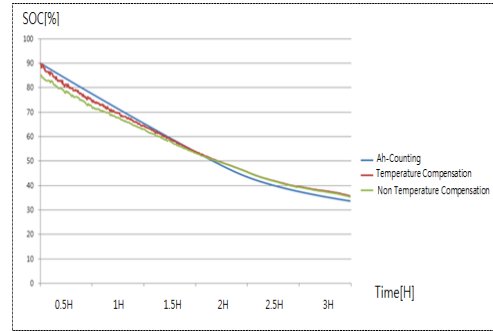


Fig. 4. Discharge characteristic of lead-acid battery

5.1.2 전력량 적산법을 이용한 리튬이온전지의 SOC 평가 알고리즘

기존의 전류 적산법과 본 논문에서 제안한 전력량 적산법에 의한 전지의 충전상태 오차율을 비교하기 위하여, 200W 저항을 이용하여 실제 방전된 전력량을 기준값으로 산정하였다. 여기서, 200W 저항을 이용하여 리튬이온전지를 방전시킬 경우, Fig. 5와 같이 전류 적산법(오차율 3%)에 비하여 제안한 방법(오차율 1%)의 오차율이 2% 정도 개선되어, 본 논문에서 제안한 SOC 평가 알고리즘의 정확성을 확인하였다.

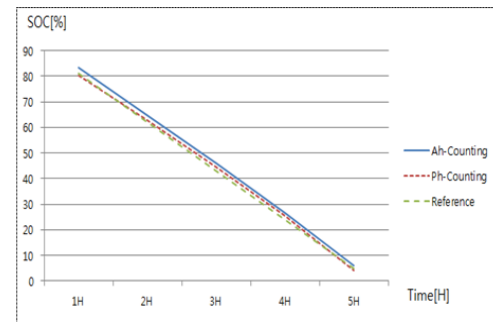


Fig. 5. Discharge characteristic of Lithium-ion battery

5.1.3 개방전압과 전력량 적산법을 이용한 SOC 평가 알고리즘

본 논문에서 제안한 하이브리드 방식의 SOC 평가 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, 200W 저항을 이용하여 개방전압, 전력량 적산법, 하이브리드 방법으로 충전상태를 평가하여 특성을 비교하였다. 여기서, Fig. 6과 같이 전지의 현재 상태를 평가하지 않고 전력량 적산법으로만 충전상태를 평가할 경우, 완전 방전지점에서 약 43%의 SOC를 가지게 된다.

또한, 개방전압으로만 충전상태를 평가할 경우 완전 방전지점에서 충전특성은 약 18%이며, 하이브리드 방법으로 충전상태를 평가할 경우 충전특성은 0%이다. 한편, 200W 저항의 실제 방전량은 62%로써, 하이브리드 방법으로 평가한 충전특성(61.4%)과 가장 근사함을 확인하여, 본 논문에서 제안한 하이브리드 SOC 평가 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

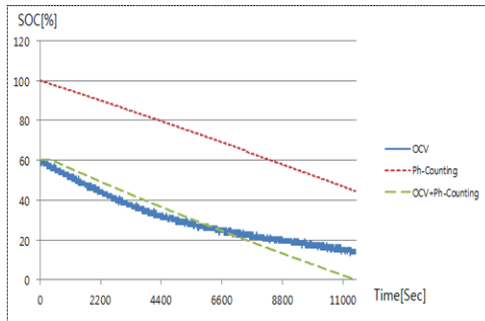


Fig. 6. Discharge characteristic of OCV, KWh-Counting and hybrid method

5.2 하이브리드 운용에 따른 메리트 분석

5.2.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 하이브리드 운용 알고리즘에 따른 메리트를 분석하기 위하여, 부하의 조건과 전지의 운용조건을 Table 1과 같이 상정하였다. 여기서, 전지는 연축전지와 리튬이온전지 2가지 전지를 이용하며, 부하의 변동특성에 따라 급변성, 중간 급변성, 비 급변성의 3가지 조건을 상정하였다. 또한, 각 전지의 전체 도입용량은 부하의 조건에 따라 700kWh로 가정하였다.

Table 1. Conditions of load and battery

	Rapid Load	Middle-rapid Load	Non-rapid Load
Capacity	300kWh	200kWh	200kWh
Operation C-rate	1C	0.5C	0.25C

Table 2. Life cycles of lead-acid and lithium-ion battery

	Lead-acid	Lithium-ion
Fixed cost (per kWh)	100,000(won)	500,000(won)
0.25C Cycles	1,200 Cycles	5,000 Cycles
0.5C Cycles	1,000 Cycles	4,500 Cycles
1C Cycles	600 Cycles	4,000 Cycles

또한, 각 전지의 kWh당 도입단가와 C-rate별 환산수명의 조건은 Table 2와 같으며, 운용비용에 대한 가중치는 각 전지의 운용 특성 및 사용연수를 고려하여 평균수명인 3,000으로 가정하였다.

5.2.2 운용메리트 분석

본 논문에서 제안한 최적화 평가 알고리즘을 이용하여, 상기의 부하조건에 따른 연축전지와 리튬이온전지의 최적 구성비를 분석하였다. 리튬이온전지와 연축전지의 도입용량 합을 100%로 가정하고 일정용량만큼 구성비를 변화시켜가면서, 도입비용과 운용비용의 합을 산출하면 Fig. 7과 같다. 여기서, 리튬이온전지와 연축전지의 구성 비율이 2:5에서 목적함수의 비용이 최소가 되었다. 즉, 각 전지의 운용 특성 및 수명을 고려한 최적 구성비에 의하여, 하이브리드 운용에 의한 경제성을 평가할 수 있음을 확인하였다.

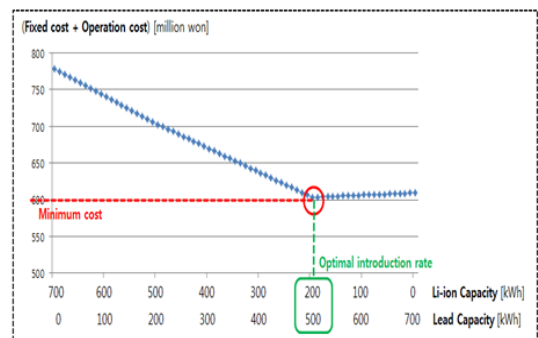


Fig. 7. Optimal introduction rate of lead-acid and lithium-ion battery

6. 결론

본 논문에서는 연축전지와 리튬이온전지의 장점을 최대한 활용하기 위하여, 각 전지의 용도에 따른 적절한 구성과 운용이 가능할 수 있도록 BMS 알고리즘을 제안하였다. 상기의 알고리즘을 바탕으로 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 논문에서는 충전상태 평가의 정확도를 향상하기 위하여, 전류의 변동분에 대한 오차를 줄이고 전력손실에 대한 부분을 고려하였고, 기존의 전류누적이 아닌 전력량을 누적시키는 전력량 적산법을 제안하였다. 또

한, 전지의 초기상태를 평가하기 위한 개방전압과 전력량 적산법을 조합하는 하이브리드 SOC 평가 알고리즘을 제안하였다.

상기의 알고리즘을 이용하여, 전지의 현재 상태를 평가하지 않고 전력량 적산법으로만 충전상태를 평가할 경우, 완전 방전지점에서 약 43%의 충전특성을 가지게 된다. 또한, 개방전압으로만 충전상태를 평가할 경우 완전 방전지점에서 충전특성은 약 18%이며, 하이브리드 방법으로 충전상태를 평가할 경우 충전특성은 0%이다. 한편, 200W 저항의 실제 방전량은 62%로써, 하이브리드 방법으로 평가한 충전특성(61.4%)과 가장 근사함을 확인할 수 있었다.

(2) 본 논문에서는 각 전지의 최적 구성비를 산출하기 위하여, 각 전지의 도입비용과 운용비용의 합을 최소화하는 하이브리드 운용 알고리즘을 제안하였다. 또한, 상기 알고리즘의 최소화하는 조건에서 각 전지의 도입비용과 운용비용에 따른 최적 구성비를 결정하기 위하여, 최적화 평가 알고리즘을 제안하였다.

상기의 알고리즘을 이용하여 부하조건에 따른 연축전지와 리튬이온전지의 최적 구성비를 분석한 결과, 리튬이온전지와 연축전지의 구성 비율이 2:5에서 목적함수의 비용이 최소가 되었다. 즉, 각 전지의 운용 특성 및 수명을 고려한 최적 구성비에 의하여, 하이브리드 운용에 의한 경제성을 평가할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Jaebum Park and Daeseok Rho, "A Study on the Technical Guideline for Secondary Battery in Nuclear Power Plant", Journal of KAIS, Vol 15, No 1, pp. 45-47, May, 2014.
- [2] Seungtaek Oh and Daeseok Rho, "A Study on Analysis of Power Supply System in Nuclear Power Plant", Journal of KAIS, Vol 15, No 1, pp. 48-50, May, 2014.
- [3] M. Broussely and G. Pistoia, "Industrial applications of batteries", Amsterdam, 2007.
- [4] Jongyoon Jeong and Daeseok Rho, "A Study on the Optimal Design of Hybrid-typed Electrical Energy Storage System(EESS)", Journal of KAIS, Vol 15, No 1, pp. 587-589, May, 2014.
- [5] Daeseok Rho, "A Study on Load leveling effect of the distribution system using the Battery Energy Storage Systems", Journal of KIEE, pp. 111-113, October, 2012.
- [6] "SMART GRID ESS(Electric Energy Storage System)", KSGA, September, 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 308TM-1991, IEEE Standard Criteria for Class 1E Power Systems for Nuclear Power Generating Stations
- [10] IEEE 323TM-1983, IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations
- [11] IEEE 494TM-1974, IEEE Standard Method for Identification of Documents Related to Class 1E Equipment and Systems for Nuclear Power Generating Stations
- [12] IEEE 535TM-1986, IEEE Standard for Qualification of Class 1E Lead Storage Batteries for Nuclear Power Generating Stations
- [13] Giuk Jang and Gyobeom Jung, "Comparison of Battery Modeling and SOC Estimation Methods", Journal of KIPE, pp. 87-88, July, 2010.

오 승 택(Seung-Taek Oh)

[준회원]



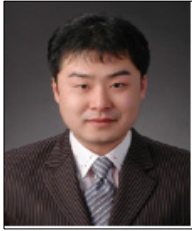
- 2013년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학화 (공학사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학전공 석사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 2차 전지, 스마트 그리드

김 병 기(Byung-Ki Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학화 (공학사)
- 2012년 2월 : 동대학원 전기공학 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학전공 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드

박 재 범(Jae-Beom Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학화 (공학사)
- 2013년 8월 : 동대학원 전기공학 (공학석사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학전공 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 2차 전지

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학 과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석