

자연에너지를 이용한 친환경 가동보용 전원공급시스템의 운용방안

권필준, 이후동, 태동현, 박지현, 페레이라 마리토, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

Operation Method of Power Supply System for Eco-friendly Movable-weir Based on Natural Energy Sources

Pil-June Kwon, Hu-Dong Lee, Dong-Hyun Tae, Ji-Hyun Park,
Marito Ferreira, Dae-Seok Rho*

Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 최근, 세계적인 기후변화로 인하여 여름철마다 가뭄으로 인한 피해는 점점 심각해지는 상태이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 산간오지에는 고정(콘크리트)보가 아닌 수위조절이 가능한 가동보가 설치되고 있다. 기존의 가동보 구동방식은 시설관리 및 인력소모로 인해 고가의 운용비용이 발생하여 운용상 어려움을 겪고 있다. 또한, 가동보는 대부분 전력계통과 연계하여 사용하고 있으므로 오지에 설치되는 경우, 전력계통 연계비용에 대한 부담이 증가하고 운용비용도 상승하는 문제점이 발생되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점들을 해결하기 위하여, 가동보(공압식)에 공급되는 기존의 전원을 태양광모듈과 리튬이온전지를 이용한 자연에너지 전원공급시스템으로 대체하는 최적 운용알고리즘과 리튬이온전지의 SOC(state of charge) 평가 알고리즘을 제시한다. 또한, 전력계통의 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 50kW 전원공급시스템의 모델링을 수행하여, 독립운전모드와 계통연계운전모드에서 안정적으로 운용되고 있음을 확인하고, 투자비용에 대한 편익을 분석하여 상용화 가능성을 제시한다.

Abstract Recently, damage caused by drought is becoming worse and worse due to the global climate change. To overcome these problems, movable-weir to control the water level has been installed instead of a fixed-weir made from concrete. On the other hand, it is difficult to operate an existing moveable-weir because of the high cost of facility management and manpower consumption. In addition, because most moveable-weirs are installed in power systems, the operating cost and the cost of connection for power systems increase when they are located in remote areas. Therefore, this paper proposes an optimal design algorithm and the evaluation algorithm of the SOC (state of charge) of a lithium-ion battery to replace an existing power supply with eco-friendly movable-power with a power supply system using PV modules and lithium-ion batteries. In addition, this study modeled a 50kW power supply system of a movable-weir using PSCAD/EMTDC S/W. The simulation results confirmed that the proposed algorithm has stable operation characteristics in an independent operation mode and interconnection operation mode and that there is the possibility of commercialization with a benefits evaluation of the eco-friendly power supply system of a movable-weir.

Keywords : Moveable-power Supply System, Eco-friendly Power Supply System, Lithium-ion Battery, PV Modules, PCS, PSCAD/EMTDC S/W, Benefit of Investment Costs

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20172410100030)와 한국에너지기술평가원의 연구(No.20182410105070)에 의하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received December 6, 2019

Revised January 23, 2019

Accepted February 7, 2020

Published February 29, 2020

1. 서론

최근, 세계적인 기후변화로 인하여 여름철마다 가뭄으로 인한 피해는 점점 심각해지는 상태이다[1,2]. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 산간오지에는 고정(콘크리트)보가 아닌 수위조절이 가능한 가동보가 설치되고 있다[3]. 기존의 가동보 구동방식은 시설관리 및 인력소모로 인해 고가의 운용비용이 발생하여 운용상 어려움을 겪고 있다[4,5]. 또한, 가동보는 대부분 전력계통과 연계하여 사용하고 있으므로 오지에 설치되는 경우, 전력계통 연계비용에 대한 부담이 증가하고 운용비용도 상승하는 문제점이 발생되고 있다. 따라서 본 논문에서는 상기의 문제점들을 해결하기 위하여, 가동보(공압식)에 공급되는 기존의 전원을 태양광모듈과 리튬이온전지를 이용한 자연에너지 전원공급시스템으로 대체하는 최적 운용알고리즘과 리튬이온전지의 SOC(state of charge) 평가 알고리즘을 제시한다. 또한, 전력계통의 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 50kW급 전원공급시스템의 모델링을 수행하여, 독립운전모드와 계통연계운전모드에서 안정적으로 운용되고 있음을 확인하고, 투자비용에 대한 편익을 분석하여 상용화 가능성을 제시하고자 한다.

2. 가동보의 운용특성 분석

가동보는 각종 용수의 취수와 하천의 수위조절, 조수의 역류를 방지하기 위해 설치되는 대표적인 구조물로서, 현재 가장 많이 사용되고 있는 유압식 가동보는 유압의 힘을 발휘하여 최적의 구동력을 갖고 있다. 하지만, 유압식 가동보는 잦은 고장으로 인하여 많은 유지관리 비용이 발생하고, 유압 오일의 누수로 인하여 수질오염이 발생할 수 있다. 한편, 가동보의 전원 공급방식은 대부분 전력계통에만 의존하여, 전력계통 접속비용과 운용비용이 증가하고, 전력계통에 사고가 발생할 경우 전원이 공급되지 않아, 제 역할을 수행하지 못해 큰 사회적 비용을 야기시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 공압식 가동보를 바탕으로 태양광모듈 및 리튬이온전지를 이용한 가동보용 친환경 전원공급장치를 제안한다.

3. 가동보용 전원공급시스템 최적운용 알고리즘

3.1 전원공급시스템의 최적운용 알고리즘

가동보는 연중 하절기에 빈번하게 가동하는 특성을 가지고 있다. 따라서 가동보 및 주변기기의 소비전력을 고려하여 태양광모듈, 리튬이온전지 그리고 PCS를 포함한 전원공급시스템의 용량을 산정하여야 한다. 산정방식은 가동보의 부하패턴 및 정격용량과 모터의 기동특성 등을 고려한다. 하지만, 기동방식에 따라 PCS의 정격은 달리 산정될 수 있다. 구체적인 친환경 전원공급시스템의 상세 운용 알고리즘은 다음과 같다.

[STEP 1] 가동보의 부하 패턴 및 용량을 고려하여, Eq. (1)과 같이 1회 가동 소비전력을 산출한다.

$$P_{cycle} = P_{load} \times T \quad (1)$$

여기서, P_{cycle} : 1회 가동 소비전력, P_{load} : 부하용량, T : 사용시간

[STEP 2] [STEP 1]에서 산출한 1회 가동 소비전력과 태양광 총 발전량의 비로 태양광모듈 용량을 Eq. (2)로 나타낼 수 있다. 여기서, 태양광 총발전량은 Eq. (3)과 같이 인버터와 태양광 모듈의 효율과 연간 이용률을 곱하여 산출한다.

$$PV_c = \frac{P_{cycle}}{PV_{power}} \quad (2)$$

$$PV_{power} = \eta_{inv} \times R \times A \times \eta_{pv} \times r_{year} \quad (3)$$

여기서, PV_c : 태양광모듈용량[W], P_{cycle} : 1회 가동 소비전력[Wh], PV_{power} : 태양광 총 발전량[Wh], η_{inv} : 인버터 발전효율, R : 경사면일사량[W/m²], A : 어레이면적[m²], η_{pv} : 태양광모듈의 효율, r_{year} : 연간 이용률

[STEP 3] [STEP 1]에서 산출한 1회 가동소비전력을 바탕으로 부조일수와 보수율 등을 고려하여 리튬배터리의 용량을 산정하면 Eq. (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{battery} = \frac{P_{cycle} \times D_r \times K \times 1000}{L \times V_b \times N \times DOD} \quad (4)$$

여기서, $C_{battery}$: 리튬배터리의 용량[KWh], D_r : 부조일수, L : 보수율, V_b : 리튬이온전지 전압, N : 리튬이온전지 개수, DOD : 방전심도, K : 손실계수

[STEP 4] PCS는 Eq. (5)와 같이 가동보의 정격 및 모터의 기동특성을 고려하여 산정한다. 단, 기동방식에 따라 PCS의 정격은 달리 산정될 수 있다.

$$W_{rating} = \frac{W_{load}}{\epsilon} \times M_k \quad (5)$$

여기서, W_{rating} : 정격출력용량[W], W_{load} : 부하측 출력용량[W], ϵ : PCS효율, M_k : 모터기동계수

3.2 리튬이온전지의 SOC 평가 알고리즘

기존의 Ah-Counting법에 의한 SOC의 평가는 전류 값을 누적시켜 SOC를 평가하여 누적 값에 대한 오차는 크지 않지만, 리튬이온전지의 출력 상태에 따라서 전류의 변동이 발생하므로 잘못된 전류 값을 누적시킬 수 있다 [6-8]. 또한, 이 방법은 내부 저항에 의하여 발생하는 전력손실을 고려하지 못하는 단점이 있다[9,10]. 따라서, 본 논문에서는 전류의 변동분에 대한 오차를 줄이고, 전력손실에 대한 부분을 고려하기 위하여, 기존의 전류 누적이 아닌 전력량을 누적시키는 KWh-counting법을 제안한다. 구체적으로, 일반적인 전지 등가모델에 대한 내부저항들을 하나의 등가저항으로 치환하고, 전지의 충방전 모드전환에 따른 전압변동과 출력상태(C-rate)의 관계로부터 등가저항을 추정한다. 또한, 치환된 등가 저항과 전지출력상태의 상관관계를 이용하여, 다양한 출력 상태에 따른 전력손실량을 고려한다.

3.2.1 리튬이온전지의 등가모델

일반적인 리튬이온전지의 등가모델은 전지 내부저항과 전하 전이저항을 합한 R_i (internal resistance)과 확산현상에 의한 저항 R_p (diffusion resistance), 이중층의 커패시턴스 C_p (diffusion capacitance) 그리고 무부하시 전지의 단자전압 $V_{OC}(V_{SOC})$ 으로 구성된다. 여기서, 각기 다른 내부저항들은 하나의 등가 내부저항(R_T)으로 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

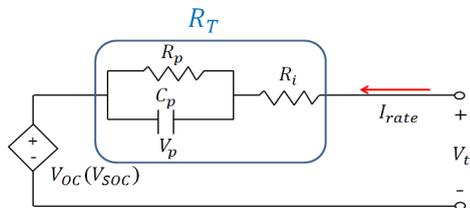


Fig. 1. Equivalent internal resistance of Li-ion battery

한편, 리튬이온전지의 단자전압(V_t)은 SOC의 함수로 무부하시 전지의 단자전압과 C-rate 전류와 등가 내부저항에 의한 전압의 합으로 Eq. (6)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

3.2.2 등가 내부저항 산정

상기의 Eq. (6)을 이용하여 전력손실을 고려한 전지의 출력전력은 Eq. (7)과 같이 정의되며, 등가 내부저항에 의한 전력손실은 Eq. (8)로 나타낼 수 있다. 또한, 전지의 출력 전력을 전지의 충·방전 전환에 따른 전압의 차이로 나타내면, 등가 내부저항은 Eq. (8)과 Eq. (9)와 같이 구할 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 출력 전력, P_{loss} : 등가내부저항에 의한 전력손실, V_{Charge} : 충전 전압, $V_{Discharge}$: 방전 전압

3.2.3 전력손실량을 고려한 SOC 평가 알고리즘

등가 내부저항에 의해 발생하는 전력손실량을 고려하여 시간에 따른 전력량을 누적시켜가며, 충·방전된 용량을 구하면 Eq. (10)과 같이 나타낼 수 있다. 또한, Eq. (10)의 충·방전된 용량과 전지의 정격용량의 상관관계를 고려하여, 리튬이온전지의 SOC 평가 식을 나타내면 Eq. (11)과 같다.

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

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

여기서, KWh_t : t 시간에 측정된 용량, KWh_{rating} : 정격용량, t_0 : 측정 시작시간, t : 측정 종료 시간

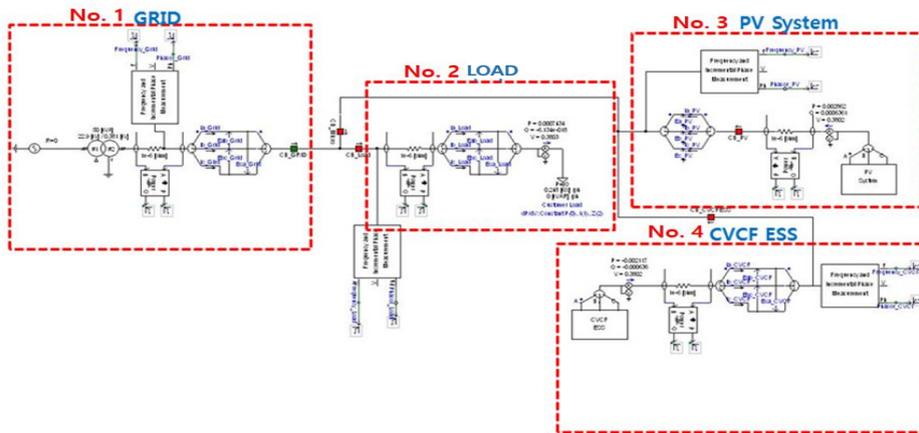


Fig. 2. Modeling of eco-friendly power supply system for movable-power

4. PSCAD/EMTDC를 이용한 50kW급 친환경 전원공급시스템의 모델링

전원공급시스템의 운용특성을 분석하기 위하여, 태양광모듈과 리튬이온전지, PCS로 구성된 가동보용 친환경 전원공급시스템을 모델링하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 구체적으로, No.1 구간은 배전계통을 나타내며, No.2 구간은 가동보의 부하, No.3 구간은 태양광 모듈, No.4 구간은 리튬이온전지와 CVCF기능을 가지는 PCS를 나타낸다. 만약, 계통에 사고가 발생할 경우, 태양광모듈로 충전된 리튬이온전지를 이용하여 CVCF 기능을 가지는 PCS에 의하여 독립적으로 가동보에 전원을 공급하도록 구성한다[11,12].

5. 5kW 가동보용 친환경 전원공급시스템 구현

여기서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링한 50kW급 친환경 전원공급시스템의 하드웨어 운용특성을 분석하기 위하여, 1/10 규모로 축소하여 구현한다. 5kW 가동보용 친환경 전원공급시스템은 계통연계운전모드와 독립운전모드에서의 절체를 포함하여 DC에서 AC전력을 전압원으로 공급하는 전력변환시스템(PCS)과 에너지를 제공하는 태양광모듈, 그리고 에너지를 저장하는 리튬이온전지로 구성된다[13].

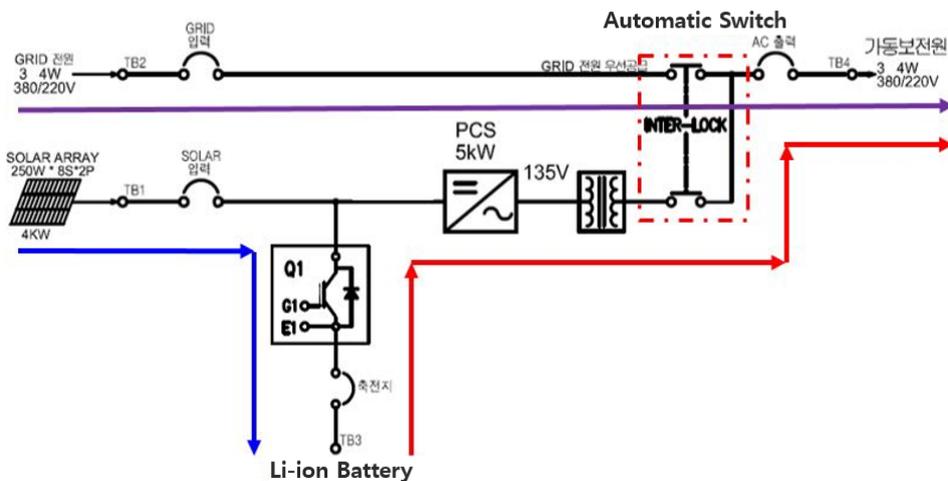


Fig. 3. Concept of eco-friendly power supply system for movable-power

5.1 PCS의 구성

PCS는 Fig. 3과 같이 전력계통의 사고 시 이를 감지하여 독립운전모드로 절체하여 가동보의 전력을 공급하도록 제어기능을 수행한다. 즉, 태양광모듈에 의하여 충전된 리튬이온전지의 전력을 인버터를 통하여 가동보용 모터 및 주변기기에 전력을 공급하고, 전력계통의 상용전원이 복구되면 PCS는 이를 감지하여 자동적으로 상용전원으로 절체하도록 구성된다. 여기서, PCS는 가동보용 모터의 초기 가동전류를 고려하여 5[kW]급으로 구성하였으며, 상세사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Configuration of PCS

items	contents	
rated capacity	DC-DC converter	4[kW]
	inverter	5[kW]
inverter	control	high frequency switching microprocessor PWM control
	semiconductor device	IGBT
output	phases	3phase 4wire
	rated voltage	380/220[V]

5.2 태양광 모듈의 구성

4[kW]급 태양광 모듈은 260[W]급 모듈 8개를 직렬로 연결하여 1개 스트링을 구성하고, 2개의 스트링이 병렬로 PCS에 연계되도록 운용한다. 여기서, 대상으로 한 태양광 모듈은 D사 제품으로서, 상세 사양은 Table 2와 같다.

Table 2. Configuration of PV modules

items	contents
rated power(P_{max})	260[W]
open-circuit voltage(V_{oc})	38.0[V]
short-circuit current(I_{sc})	8.98[A]
voltage at Pmax(V_{mp})	30.2[V]
current at Pmax(I_{mp})	8.6[A]
rated efficiency	15.92[%]

5.3 리튬이온전지의 구성

리튬이온전지는 Table 3과 같이 리튬이온 배터리(18650 셀)와 BMS(battery management system)로 구성하였다. 여기서, 리튬이온전지는 2.85[Ah]의 단전지를 이용하여 4[kW]급으로 구현한다. 특히, 가동보의 가동특성을 고려하여 BMS의 과전류 차단전류 셋팅값을 35[A]로 설정한다.

Table 3. Configuration of Li-ion battery

	items	contents
battery	type	Li-ion battery
	rated voltage	216[V]
	charging voltage(Max)	237[V]
	cut-off voltage(Min)	197[V]
	nominal capacity	4.32kWh (20Ah)
BMS	configuration	7P60S
	charging current (Max)	8[A]
	continuous discharging current	14[A]
	cut-off of over current	35[A]

5.4 운용프로그램 구성

앞에서 제시한 SOC평가 알고리즘을 이용하여 정확한 리튬이온전지의 상태를 모니터링하기 위하여 Fig. 4와 같이 HMI를 구현한다. 여기에서는 AutoBase S/W를 기반으로 하여, 메인 메뉴는 리튬이온전지의 SOC상태, 전압, 충/방전 전류 그리고 충전시간을 확인할 수 있도록 구성한다.

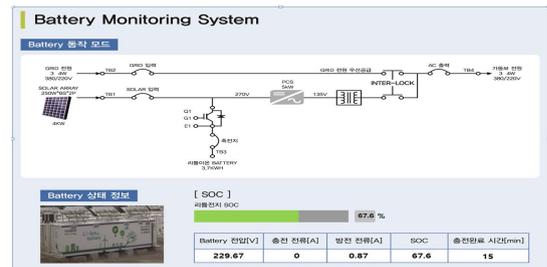
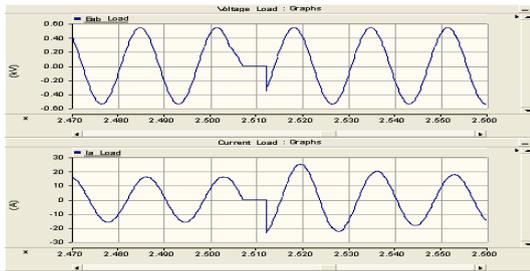


Fig. 4. Implementation of HMI using AutoBase

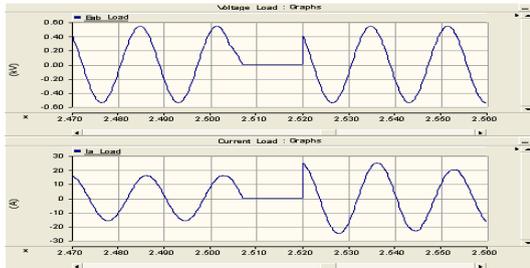
6. 시뮬레이션 결과 및 경제성 비교분석

6.1 PSCAD/EMTDC에 의한 운용특성 분석

전원공급시스템의 독립운전모드로의 절체특성을 확인하기 위하여, Fig. 5와 같이 PSCAD/EMTDC S/W를 이용하여 모드 절체 시 PCS의 출력특성을 분석한다. 여기서, Fig. 5(a)는 가동보가 계통연계모드에서 운용되고 있는 동안 사고가 발생하는 경우, 전원공급시스템의 PCS가 가동보에 전원을 공급하기 위하여 독립운전모드로 절체하는 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로서, 5ms 이내에 정격 출력으로 운용되고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig. 5(b)는 독립운전모드에서 계통연계모드로 절체하는 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로서, 이때에는 11ms 이내에 정격 출력으로 운용됨을 알 수 있다.



(a) Switching from grid connection to independent operation mode



(b) Switching from independent operation to grid connection mode

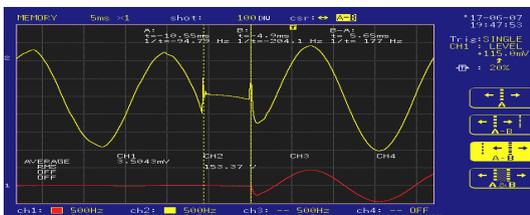
Fig. 5. Switching mode characteristics of PCS by S/W

6.2 5kW급 전원공급시스템의 운용특성 분석

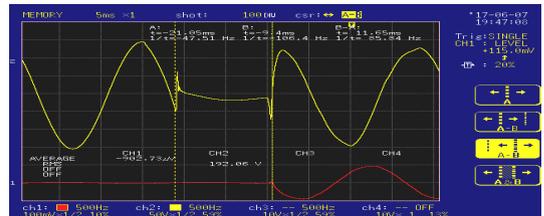
본 논문에서 H/W 시뮬레이션을 위해 제작·운용한 5kW급 전원공급시스템에 대하여, 상용전원 절체시험과 부하급변 특성시험을 수행한다.

6.2.1 상용전원 절체시험

독립운전모드와 계통연계운전모드 PCS의 절체특성은 Fig. 6과 같다. 여기서, Fig. 6(a)는 가동보가 계통연계모드에서 운용되고 있는 동안 사고가 발생하는 경우, 전원공급시스템의 PCS가 가동보에 전원을 공급하기 위하여 독립운전모드로 절체하는 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로서, 5ms 이내에 정격 출력으로 운용되고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig. 6(b)는 독립운전모드에서 계통연계모드로 절체하는 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로서, 이때에는 11ms 이내에 정격 출력으로 운용됨을 알 수 있다.



(a) Switching from grid connection to independent operation mode



(b) Switching from independent operation to grid connection mode

Fig. 6. Switching mode characteristics of PCS by H/W

6.2.2 부하급변 특성시험

가동보의 부하급변에 따른 전원시스템용 PCS의 과도전압과 응답특성을 확인하기 위하여, 부하를 정격(100%)에서 0%로 변동시키며 PCS의 출력특성을 분석한다. Fig. 7은 부하급변에 따른 PCS의 출력 전압과 전류를 나타낸 것으로서, 부하의 크기가 정격(100%)에서 0%로 변동하는 경우, PCS의 전압이 317[V]에서 322[V]로 약 4.7%가 증가되어, 규정과도전압 변동범위 5%를 만족하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 이때의 과도전압에 대한 응답속도는 16.6ms로 규정치인 50ms 미만을 만족하여, 급격한 부하 변동에도 전원공급시스템용 PCS가 정상적으로 운용됨을 알 수 있다.

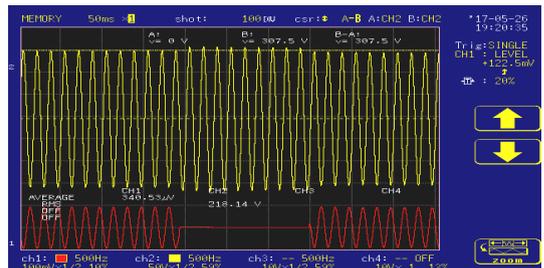


Fig. 7. Characteristics of rapid load variation

6.3 리튬이온전지의 SOC 특성분석

6.3.1 전력손실을 고려한 SOC평가 알고리즘 특성

기존의 Ah-Counting과 본 논문에서 제안한 KWh-Counting법에 의한 전지의 충전상태 오차율을 비교하기 위하여, 200W 저항을 이용하여 실제 방전된 전력량을 기준값으로 산정한다. 여기서, 200W 저항을 이용하여 리튬이온전지를 방전시킬 경우, Fig. 8과 같이 전류적산법(오차율 3%)에 비하여 제안한 방법(오차율 1%)의 오차율이 2% 정도 개선되어, 본 논문에서 제안한 SOC평가알고리즘의 유용성을 확인할 수 있으며, 부하와 근사함을 알 수 있다.

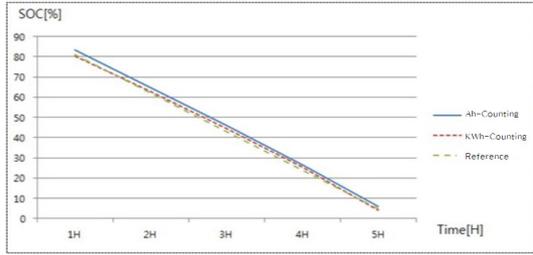
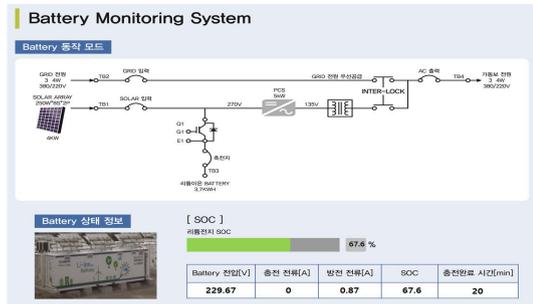


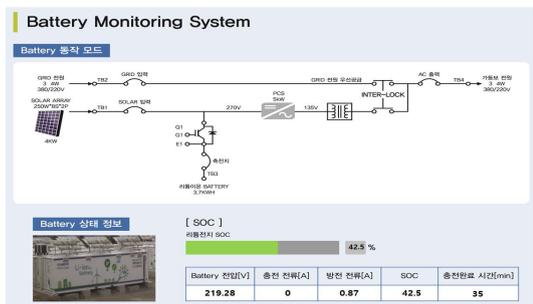
Fig. 8. Discharge characteristic of Li-ion battery

6.3.2 S/W에 의한 리튬이온전지의 SOC특성 시험

상기에서 제안한 리튬이온전지의 SOC평가 알고리즘을 바탕으로 독립운전 모드에서 SOC특성 시험을 수행한다. 여기서, Fig. 9(a)는 리튬이온전지의 초기상태를 나타낸 것으로서, 팩전압은 229[V]이고, SOC는 67%를 기준값으로 한다. 또한, Fig. 9(b)는 764[W]급 모터부하를 1시간 동안 운전한 후, 리튬이온전지의 운용상태를 나타낸 것으로서, 팩전압은 225[V]이고, SOC는 42%로 감소한다. 따라서, SOC의 감소분인 25%를 환산하면 약 750[W]로 실제 부하와 근사함을 확인할 수 있다.



(a) Initial SOC Characteristics



(b) SOC characteristics after load test

Fig. 9. SOC characteristics of eco-friendly power supply system for movable-power

6.4 상용화에 대한 경제성 평가

상기에서 제안한 전원공급시스템을 통해 실제 가동보용을 운영하는 지자체(또는 수자원공사) 입장에서 투자비용 대비 경제성을 비교한다. 즉, 가동보용 오지에 설치할 거나 전기시설이 없는 지역에 설치할 경우, 고객은 Table 4와 같이 한전에서 제시한 전기공급약관에 따른 표준시설 부담금에 대한 비용을 지불해야 한다[14]. 여기서, 표준시설 부담금이란 Table 4(a)와 같이 저압, 고압 또는 특고압으로 구분하고, 배전선로 공사발생 유무 및 공사내역에 관계없이 신설 또는 증설분 계약전력에 대하여, 비용을 부담하는 것이다. 또한, 고객은 지중이나 가공으로 공급을 받고자 할 경우 공급방식에 따라 지출 비용이 달라지는데, Table 4(b)와 같이 거리시설 부담금이 추가로 신설거리 또는 첨가거리에 따라 적용된다. 여기서, 선로길이 200m까지는 한전에서 무상으로 공사를 진행하기 때문에 추가분에 대해서만 신설거리의 비용을 지불하도록 한다. 본 논문에서는 가공 공급, 즉 가공공급의 경우에 대하여 비용을 산출한다.

Table 4. Standard facility cost of customer with electricity supply agreement

(a) Basic Cost of facility

contents	basic cost of facility	aerial facility (won)	underground facility(won)
low voltage	up to 5kW of contract power for each contract	220,000	421,000
	per 1kW for more than 5kW of contract power	66,000	98,000
high or extra high voltage	per 1kW for new contract power	17,000	35,000

(b) Facility cost per length

contents	facility cost per length	voltage	aerial facility (won)		underground facility (won)
			single	triple	
cost of new facility per length	per 1m of new facility for more than basic length	low	39,000	43,000	60,000
		high or extra high	43,000		110,000
additional cost per length	per 1m of additional facility for more than basic length	low	5,000		-
		high or extra high	10,000		-

상기의 방법에 따라 선로길이에 따른 고객 분담금을 산정하면 Table 5와 같다. 이 표에서와 같이, 계약용량이 50kW이고 고압 3상 공급방식이며 선로길이가 1,000m인 경우에 대하여 고객 분담금을 산정하면, 지자체가 납부해야 할 금액은 약 36,100천원이다. 하지만, 친환경 전원공급시스템을 설치하는 경우에는 약 140,000천원 정도의 비용이 소요되기 때문에, 경제적이지 않음을 알 수 있다. 반면에, 3,500m 거리에 친환경 전원공급시스템을 설치하면, 상용전원을 이용할 경우, 143,600천원이 소요됨으로 친환경 전원공급시스템이 더 경제적임을 알 수 있다. 즉, 선로길이 약 3,300m까지는 친환경 전원공급시스템을 투자하는 것이 비경제적이지만, 약 3,400m이상의 거리에 설치하면 친환경 전원공급시스템의 상용화가 가능한 것을 알 수 있다.

Table 5. Cost of customer with line lengths

cable length(m)	aerial facility cost at high voltage (unit : 1,000won)
1,000	36,100
3,000	122,100
3,500	143,600
4,000	165,100
5,000	208,100

7. 결론

가동보는 대부분 전력계통과 연계하여 사용하고 있으므로 오지에 설치되는 경우에는 전력계통 연계비용에 대한 부담이 증가하고, 운용비용도 상승하는 문제점이 발생되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점들을 해결하기 위하여, 가동보(공압식)에 공급되는 기존의 전원을 태양광모듈과 리튬이온전지를 이용한 친환경 전원공급시스템을 제안하였으며, 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 제안한 전원공급시스템이 가동보에 전원을 공급하기 위하여 독립운전모드로 절체하는 경우, 5ms 이내에 정격 출력으로 운용되고 있음을 확인하였고, 또한, 독립운전모드에서 계통연계모드로 절체하는 경우에도 11ms 이내에 정상상태로 운용되고 있음을 확인할 수 있다.
- (2) 가동보의 부하급변에 따른 과도전압과 응답특성은 정격(100%)에서 0%로 변동시 전압이 317[V]에서

322[V]로 약 4.7%가 증가되어, 규정 변동범위 5%를 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한, 과도전압에 대한 응답속도는 16.6 ms로 규정치인 50 ms 미만을 만족하여, 급격한 부하 변동에도 전원공급시스템용 PCS가 정상적으로 운용됨을 확인할 수 있다.

- (3) 제안한 리튬이온전지의 SOC평가 알고리즘에 의하면 초기조건으로 랙전압은 229[V]이고, SOC는 67%를 기준값으로 하여, 독립운전모드로 764[W]급 모터부하로 1시간 동안 운전한 결과, 랙전압은 225[V]이고, SOC는 42%로 감소한다. 따라서, SOC의 감소분인 25%를 환산하면 약 750[W]로 SOC평가 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있다.
- (4) 한전의 전기공급약관에 따른 표준시설 부담금을 고려하여, 가동보의 전원공급비용을 평가한 결과, 선로길이 3,300m까지는 친환경 전원공급시스템을 투자하는 것이 비경제적이지만, 약 3,400m이상의 거리에 설치하면 친환경 전원공급시스템의 상용화가 가능한 것을 알 수 있다.

References

- [1] B.H. Lee, B.J. Lee, S.H. Oh, W.S. Jung, K. S. Kim, "Extraction of Disaster Link Matrix Considering Flood Damage of Low-rise Structures due to Typhoon Effects", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol.18, No.5, pp.209-214, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.2019>
- [2] Y.D. Joo, "A Study on the Construction of Near-Real Time Drone Image Preprocessing System to use Drone Data in Disaster Monitoring", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol.18, No.3, pp.143-149, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.3.143>
- [3] J.H Lee, I.Y Han, H.S Choi, "Analysis of Storage and Flood Control Effects by Underflow Type of Multi-stage Movable Weir", Ecology and Resilient Infrastructure, Vol.3, No.4, pp.294-301, 2016.
DOI : <https://doi.org/10.17820/eri.2016.3.4.294>
- [4] IEEE 450-2002, "IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications", 2002.
- [5] IEEE 484-2002, "IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications", 2002.
- [6] K.W Jang, H.J Kim, G.B Jung, "Comparison of Battery Modeling and SOC Estimation Methods", Journal of

KIPE, pp. 87-88, 2010.

- [7] N.A. Windarko, J. Choi, "SOC Estimation Based On OCV For NiMH Batteries Using An Improved Takacs Model", Journal of Power Electronics, Vol. 10, No. 2, p.181-186, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6113/JPE.2010.10.2.181>
- [8] J.B Park, B.K Kim, S.H Song, D.S Rho, "Development of State of Charge and Life Cycle Evaluation Algorithm for Secondary Battery", Journal of the Korea Academic Industrial cooperation Society, Vol.14, No.1, pp.369-377, 2013.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.369>
- [9] S.T Oh, B.K Kim, J.B Park, D.S Rho, "Development of Hybrid BMS(Battery Management System) Algorithm for Lead-acid and Lithium-ion battery", Journal of the Korea Academic-Industrial cooperation Society, Vol.16, No.5 pp.3391-3398, 2015.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3391>
- [10] J.H Park, P.Y Lee, S.S Jang, J.H Kim, "Due to the Diference in Uniformity of Electrical Characteristics between Cels in a Batory Pack SOC Estimation Performance Comparative Analysis", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol.24, No.1, pp.16-24, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.613/TKPE.2019.24.1.16>
- [11] M.K Kang, S.S Choi, J.B Park, Y.H Nam, E.S Kim, D.S Rho, "A Study on the Modeling Method of Performance Evaluation System for MW Scaled Energy Storage System Using the PSCAD/EMTDC", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.66, No.6, pp.885-891, 2017.
DOI : <http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.6.885>
- [12] J.Y Wang, B.K Kim, J.B Park, B.M Kim, E.S Kim, D.S Rho, "A Study on the Modeling and Operation Algorithm of Independent Power System for Carbon Free", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.65, No.5, pp.760-768, 2016.
DOI : <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.5.760>
- [13] M.K Kang, S.S Choi, Y.H Nam, H.D Lee, J.H Park, "Design and Implementation of Eco-friendly Power Supply System for Moveable-weir Using PV Module and Li-ion Battery", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.67, No.2, pp.186-193, 2018.
DOI : <http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.2.186>
- [14] KEPCO, "Electricity Supply Agreement", 2019, <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/D/C/CYDCHP00404.jsp>

권 필 준(Pil-June Kwon)

[준회원]



- 2014년 8월 : 공주대학교 전기전자 제어공학과 (공학사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중
- 2014년 11월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 대리

<관심분야>

신재생에너지, 전력계통, 마이크로그리드

이 후 등(Hu-Dong Lee)

[정회원]



- 2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드

태 동 현(Dong-Hyun Tae)

[정회원]



- 2014년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드

박 지 현(Ji-Hyun Park)

[준회원]



- 2017년 2월 : 청주대학교 태양광 에너지공학과 (공학사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

신재생에너지, 전력계통, 마이크로그리드

페레이라 마리토(Marito Ferreira)

[정회원]



- 2013년 2월 : 동티모르 국립대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력품질 해석, 분산전원, 전기저장장치

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석