

# 태양광모듈과 리튬이온전지를 이용한 가동보용 친환경 전원공급장치의 설계 및 구현

## Design and Implementation of Eco-friendly Power Supply System for Moveable-weir Using PV Module and Li-ion Battery

강민관\* · 최성식\* · 남양현\* · 이후동\* · 박지현\* · 노대석\*

(Min-Kwan Kang · Sung-Sik Choi · Yang-Hyeon Nam · Hu-Dong Lee · Ji-Hyun Park · Dae-Seok Rho)

**Abstract** - Generally, it is difficult to operate moveable-weir due to the expensive cost of the facility management and manpower consumption. Also, when it is installed in a remote area, there is a problem that the cost of connection for power system increases as well as the operating cost. Therefore, this paper proposes an optimal design algorithm to replace an existing power system with an Eco-friendly power supply system for movable-weir using PCS, PV module and lithium-ion battery. Also, this paper proposes a modeling method of environment-friendly power supply system for a movable-weir based on the PSCAD/EMTDC S/W and implements 5[kW] prototype environment-friendly power supply system. As a result of the performance test using the S/W modeling and the prototype system, it is confirmed that the proposed system has stable characteristics in the independent operation mode and the interconnection mode.

**Key Words** : Moveable-weir, Eco-friendly Power supply system, Optimal design algorithm, Lithium-ion battery, PV module, PCS, Evaluation algorithm, PSCAD/EMTDC S/W

### 1. 서론

최근 가뭄으로 인한 피해는 심각한 상태이며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 고정(콘크리트)보가 아닌 수위조절이 가능한 가동보가 설치되고 있다. 기존의 가동보(유압식) 구동방식은 시설관리 및 인력소모로 인해 고가의 운용비용이 발생하여 운용상 어려움을 겪고 있다. 또한, 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 전원공급장치로 대체하기 위하여, 이장치의 최적 설계알고리즘과 리튬이온전지의 SOC(State of Charge) 평가 알고리즘을 제시하였다. 또한, 전력계통의 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 전원공급장치의 모델링을 수행하였고, 이를 바탕으로 5[kW]급 친환경 전원공급장치를 구현하였다. 상기의 S/W모델링과 H/W장치를 이용하여 성능시험을 수행한 결과, 독립운전모드와 계통연계운전모드에서 안정적으로 운용되고 있음을 확인하였다.

### 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 제안하였다.

### 3. 가동보용 친환경 전원공급장치 최적설계 알고리즘

#### 3.1 전원공급장치의 최적설계 알고리즘

가동보는 연중 하절기에 빈번하게 가동하는 특성을 가지고 있다. 따라서 가동보 및 주변기기의 소비전력을 고려하여 태양광모듈, 리튬이온전지 그리고 PCS를 포함한 전원공급장치의 용량을 산정하여야 한다. 산정방식은 가동보의 부하패턴 및 정격용량과 모터의 가동특성 등을 고려한다. 하지만, 가동방식에 따라 PCS의

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

\* Dept. of Electrical and Engineering, Korea University of Technology and Education, Korea.

Received : September 28, 2017; Accepted : January 16, 2018

정격은 달리 산정될 수 있다. 구체적인 친환경 전원공급장치의 상세설계 알고리즘은 다음과 같다[6].

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

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

여기서,  $P_{cycle}$ : 1회 가동 소비전력,  $P_{load}$ : 부하용량,  $T$ : 사용 시간

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

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

$$PV_{power} = INV_e \times R \times A_s \times PV_e \times K \quad (3)$$

여기서,  $PV_c$ : 태양광모듈용량[W],  $P_{cycle}$ : 1회 가동 소비전력 [Wh],  $PV_{power}$ : 태양광 총 발전량[Wh],  $INV_e$ : 인버터 발전효율,  $R$ : 경사면일사량[5MJ/m<sup>2</sup>],  $A_s$ : 어레이면적[m<sup>3</sup>],  $PV_e$ : 태양광모듈효율,  $K$ : 손실계수

[STEP 3] [STEP 1]에서 산출한 1회 가동소비전력을 바탕으로 부조일수와 보수율 등을 고려하여 리튬배터리의 용량을 산정하면 식 (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 식 (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],  $\epsilon$ : PCS효율,  $M_k$ : 모터기동계수

### 3.2 리튬이온전지의 SOC 평가 알고리즘

기존의 Ah-Counting법에 의한 SOC의 평가는 전류 값을 누적

시켜 SOC를 평가하여 누적 값에 대한 오차는 크지 않지만, 리튬이온전지의 출력 상태에 따라서 전류의 변동이 발생하므로 잘못된 전류 값을 누적시킬 수 있다[7]. 또한, 이 방법은 내부 저항에 의하여 발생하는 전력손실을 고려하지 못하는 단점이 있다. 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 충·방전 모드전환에 따른 전압변동과 출력상태(C-rate)의 관계로부터 등가저항을 추정한다. 또한, 치환된 등가 저항과 전지출력상태의 상관관계를 이용하여, 다양한 출력 상태에 따른 전력손실량을 고려한다.

#### (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 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

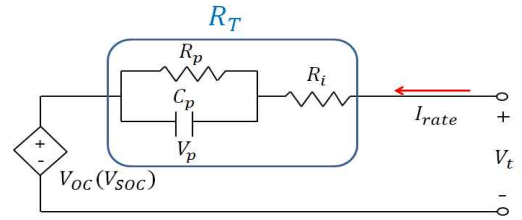


그림 1 리튬이온전지의 등가 내부저항

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 식 (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

#### (2) 등가 내부저항 산정

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

**(3) 전력손실량을 고려한 SOC 평가 알고리즘**

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

**4. PSCAD/EMTDC를 이용한 친환경 전원공급장치 모델링**

전원공급장치의 운용특성을 분석하기 위하여, 태양광모듈과 리튬이온전지, PCS로 구성된 가동보용 친환경 전원공급장치를 모델링하면 그림 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[12].

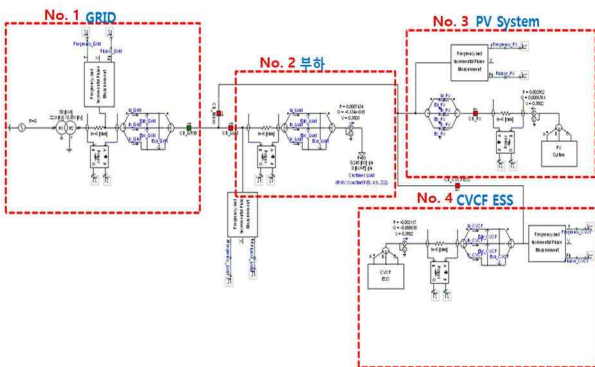


그림 2 가동보용 친환경 전원공급장치 모델링  
Fig. 2 Modeling of eco-friendly power supply system for movable-weir

**5. 가동보용 친환경 전원공급장치 구현**

가동보용 친환경 전원공급장치는 계통연계운전모드와 독립운전모드에서의 절체를 포함하여 DC에서 AC전력을 전압원으로 공급하는 전력변환장치(PCS)와 에너지를 제공하는 태양광모듈, 그리고 이 에너지를 저장하는 리튬이온전지로 구성된다.

**5.1 PCS의 구성**

PCS는 그림 3과 같이 전력계통의 사고시 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 기동전류를 고려하여 5[kW]급으로 구성하였으며, 상세사양은 표 1과 같다.

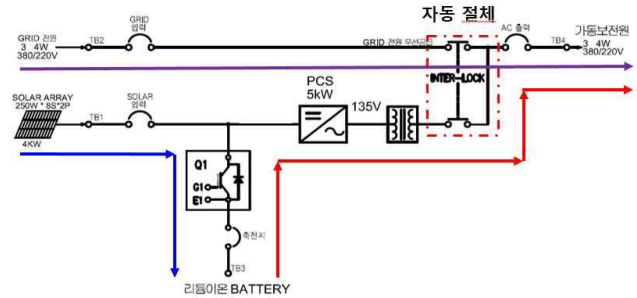


그림 3 가동보용 친환경 전원공급시스템의 개념  
Fig. 3 Concept of eco-friendly power supply system for movable-weir

표 1 PCS의 구성  
Table 1 Configuration of PCS

항목	내역	
용량	단방향 컨버터	4kW
	인버터	5kW (모터기동전류 적용)
인버터 (충방전기)	제어 소자	고주파 스위칭 MICROPROCESSOR 제어 PWM방식
	소자	I.G.B.T
출력특성	출력(상수)	5kW(3φ 4W and Ground)
	정격 전압	3상 4선 380V(220 1상, 겸용)

**5.2 태양광 모듈의 구성**

4[kW]급 태양광 모듈은 260[W]급 모듈 8개를 직렬로 연결하

여 1개 스트링을 구성하고, 2개의 스트링이 병렬로 PCS에 연계 되도록 설계하였다. 여기서 대상으로 한 태양광 모듈은 D사 제품으로 상세 사양은 표 2와 같다.

표 2 태양광모듈의 구성

Table 2 Configuration of PV module

항 목	내 역
공칭규격	SN260P-23(다결정) 16개
최대출력	260W
개방전압	38.0V
단락전류	8.98A
최대출력동작전압	30.2V
최대출력동작전류	8.6A
정격효율	15.92%

### 5.3 리튬이온전지의 구성

리튬이온전지는 표 3과 같이 리튬이온 배터리(18650셀)와 BMS(Battery Management System)로 구성하였다. 여기서, 리튬이온전지는 2.85Ah의 단전지를 이용하여 4[kW]급으로 구현하였다. 특히, 가동보의 기동특성을 고려하여 BMS의 과전류 차단전류 셋팅값을 35[A]로 설정하였다.

표 3 리튬이온전지의 구성

Table 3 Configuration of Li-ion battery

종 류	항 목	내 역
배터리	배터리종류	리튬이온전지
	정격전압	216V
	충전전압(최대)	237V
	방전종지전압	197V
	설계용량	4.32kWh (20Ah)
BMS	구성	7P60S
	충전최대전류	8A
	연속방전전류	14A
	과전류 차단	35A

### 5.4 운용프로그램 구성

앞에서 제시한 SOC평가 알고리즘을 이용하여 정확한 리튬이온전지의 상태를 모니터링하기 위하여 그림 4와 같이 HMI를 구현하였다. 여기에서는 AutoBase S/W를 기반으로 하여, 메인메뉴는 리튬이온전지의 SOC상태, 전압, 충/방전 전류 그리고 충전시간을 확인할 수 있도록 구성하였다.

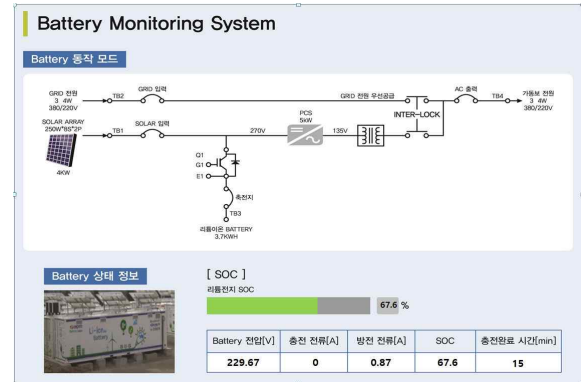


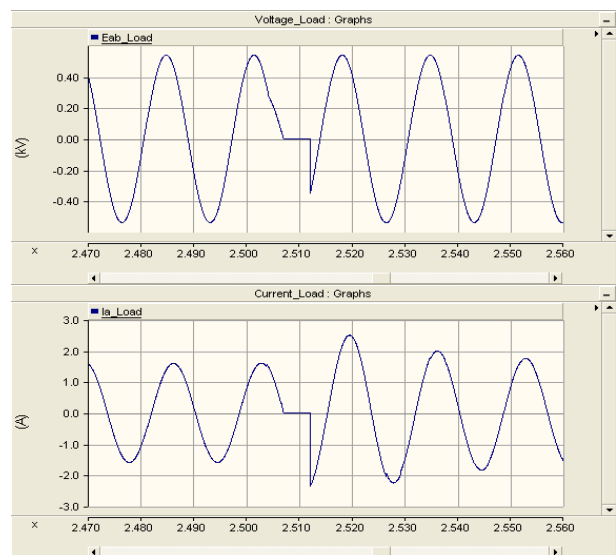
그림 4 AutoBase를 이용한 HMI 구현

Fig. 4 Implementation of HMI using AutoBase

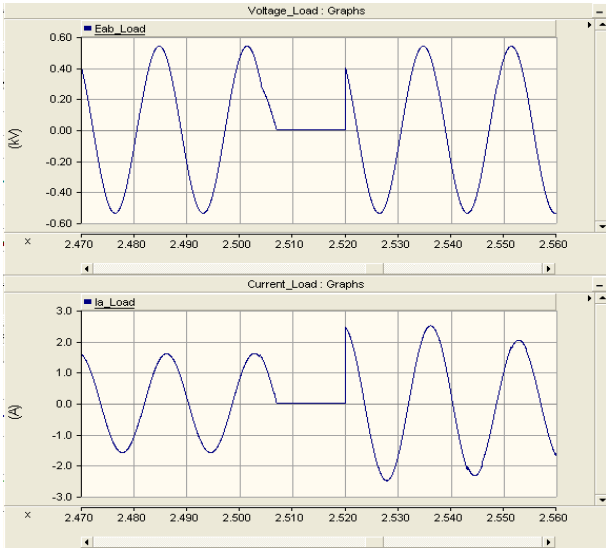
## 6. 시뮬레이션 결과 및 특성 분석

### 6.1 S/W에 의한 가동보용 전원공급장치의 운용특성 분석

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



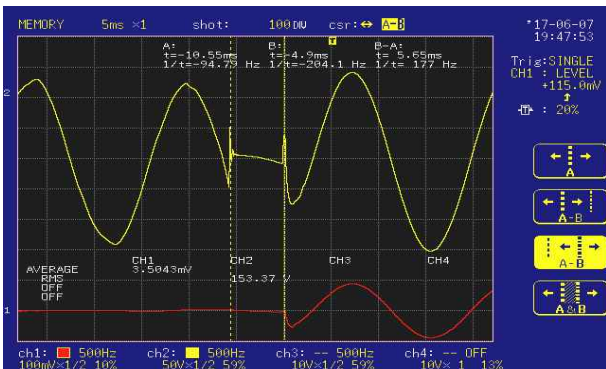
(a) 계통연계모드에서 독립운전모드로 전환



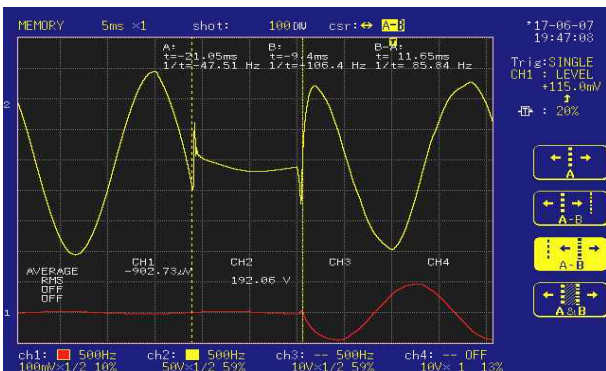
(b) 독립운전모드에서 계통연계모드로 전환

그림 5 S/W에 의한 PCS의 모드절제 특성

Fig. 5 Mode switching characteristics of PCS by S/W



(a) 계통연계모드에서 독립운전모드로 전환



(b) 독립운전모드에서 계통연계모드로 전환

그림 6 H/W에 의한 PCS의 모드절제 특성

Fig. 6 Mode switching characteristics of PCS by H/W

## 6.2 H/W에 의한 가동보유 전원공급장치의 운용 특성 분석

### (1) 상용전원 절체 시험

본 논문에서 설계, 제작한 5[kW]급 전원공급장치에 대하여 독립운전모드와 계통연계운전모드에 따른 PCS의 절체특성은 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6(a)는 가동보유 계통연계모드에서 운용되고 있는 동안 사고가 발생하는 경우, 전원공급장치의 PCS가 가동보유에 전원을 공급하기 위하여 독립운전모드로 절체하는 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로서, 5ms 이내에 정격 출력으로 운용되고 있음을 알 수 있었다. 또한, 그림 6(b)는 독립운전 모드에서 계통연계모드로 절체하는 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로서, 이때에는 11ms 이내에 정격 출력으로 운용됨을 알 수 있었다.

### (2) 부하급변 특성 시험

가동보유 부하급변에 따른 전원장치용 PCS의 과도전압과 응답 특성을 확인하기 위하여, 부하를 정격(100%)에서 0%로 변동시키며 PCS의 출력특성을 분석하였다. 그림 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 확인하였다. 또한, 이때의 과도전압에 대한 응답속도는 16.6ms로 규정치인 50ms 미만을 만족하여, 급격한 부하 변동에도 전원공급장치용 PCS가 정상적으로 운용됨을 확인하였다.

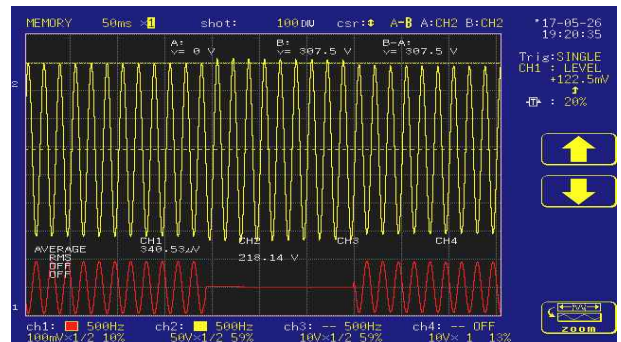


그림 7 부하급변 특성시험

Fig. 7 Characteristics of rapid load variation

## 6.3 리튬이온전지의 SOC특성 분석

### (1) 전력손실을 고려한 SOC평가 알고리즘 특성 분석

기존의 Ah-Counting과 본 논문에서 제안한 KWh-Counting법에 의한 전지의 충전상태 오차율을 비교하기 위하여, 200W 저항을 이용하여 실제 방전된 전력량을 기준값으로 산정하였다. 여기서, 200W 저항을 이용하여 리튬이온전지를 방전시킬 경우, 그림 8과 같이 전류 적산법(오차율 3%)에 비하여 제안한 방법(오차율 1%)의 오차율이 2% 정도 개선되어, 본 논문에서 제안한 SOC 평가알고리즘의 정확성을 확인하였다. 부하와 근사함을 확인하였다.

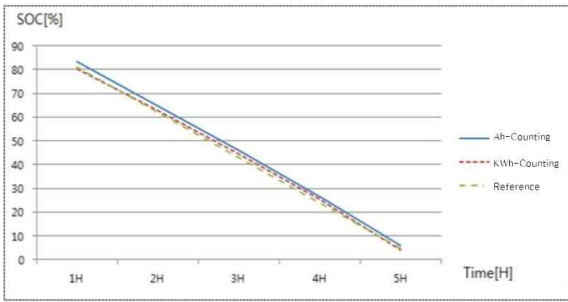


그림 8 리튬이온전지의 방전 특성  
Fig. 8 Discharge characteristic of Li-ion battery

용상태를 나타낸 것으로서, 락전압은 225[V]이고, SOC는 42%로 감소하였다. 따라서, SOC의 감소분인 25%를 환산하면 약 750[W]로 실제 부하와 근사함을 확인하였다.

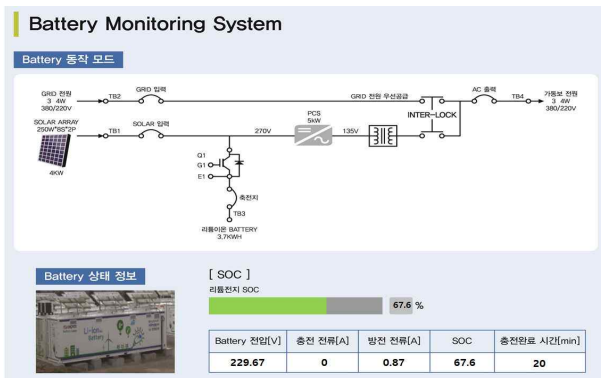
## 7. 결 론

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 전원공급장치를 제안하였으며, 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

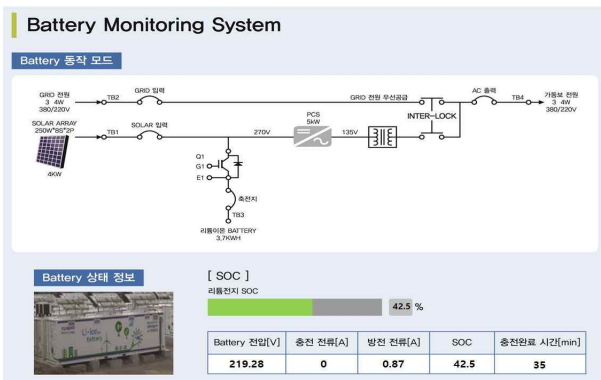
(1) 제안한 전원공급장치가 가동보에 전원을 공급하기 위하여 독립운전모드로 절체하는 경우, 5ms 이내에 정격 출력으로 운용되고 있음을 확인하였고, 또한, 독립운전모드에서 계통연계모드로 절체하는 경우에도 11ms 이내에 정상상태로 운용되고 있음을 확인하였다.

(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 확인하였다. 또한, 과도전압에 대한 응답속도는 16.6 ms로 규정치인 50 ms 미만을 만족하여, 급격한 부하 변동에도 전원공급장치용 PCS가 정상적으로 운용됨을 확인하였다.

(3) 제안한 리튬이온전지의 SOC평가 알고리즘에 의하면 초기 조건으로 락전압은 229[V]이고, SOC는 67%를 기준값으로 하여, 독립운전모드로 764[W]급 모터부하로 1시간 동안 운전한 결과, 락전압은 225[V]이고, SOC는 42%로 감소하였다. 따라서, SOC의 감소분인 25%를 환산하면 약 750[W]로 SOC평가 알고리즘의 유효성을 확인하였다.



(a) 초기의 SOC특성



(b) 부하 테스트 후 SOC특성

그림 9 가동보용 친환경 전원공급시스템의 SOC특성  
Fig. 9 SOC characteristics of eco-friendly power supply system for movable-weir

### (2) S/W에 의한 리튬이온전지의 SOC특성 시험

상기에서 제안한 리튬이온전지의 SOC평가 알고리즘을 바탕으로 독립운전 모드에서 SOC특성 시험을 수행하였다. 여기서, 그림 9(a)는 리튬이온전지의 초기상태를 나타낸 것으로서, 락전압은 229[V]이고, SOC는 67%를 기준값으로 한다. 또한, 그림 9(b)는 764[W]급 모터부하를 1시간 동안 운전한 후, 리튬이온전지의 운

## 감사의 글

본 연구는 2016년도 중소기업부의 지원을 받아 수행한 연구(No. C0443938)로서, 관계부처에 감사드립니다.

## References

- [1] IEEE 484-2002, IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications
- [2] IEEE 450 2002<sup>6</sup>, IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications
- [3] IEEE 100<sup>6</sup>, The Authoritative Dictionary of IEEE

Standards Terms Seventh Edition

- [4] Cheol-sik Seo, "He Battery Management System for UPS Lead-Acid Battery" Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.6, pp. 127~133, 2008. 6,  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2008.22.6.127>
- [5] Giuk Jang and Gyobeom Jung, "Comparison of Battery Modeling and SOC Estimation Methods", Journal of KIPE, pp. 87-88, July, 2010.
- [6] Sunyoung Kim, Jaebum Park, "A Study on the Power Supply System Using PV Systems", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, 2011.7, 708-709 (2 pages).
- [7] Jaebum Park, Byungki Kim and Daeseok 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, 2013.1.
- [8] Oh, Seung-Teak, Kim, Byung-Ki, Park, Jaebeom, Rho Dae-Seok, "Development of Hybrid BMS(Battery Management System) Algorithm for Lead-acid and Lithium-ion battery", Journal of the Korea", Journal of the Korea Academic-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 5 pp. 3391-3398, 2015
- [9] Sungsik Choi, "Modeling of Performance Test Devices for MW Class Energy Storage System Using the PSCAD/EMTDC", Conference of the Korea academia-industrial cooperation society, Dec. 2016.
- [10] Daeseok Rho, "Modeling of ESS Performance Test Devices Using the PSCAD/EMTDC", Fall Conference For Society A of KIEE(Korean Institute of Electrical Engineers), Nov, 2016.
- [11] Daeseok 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 66(6), 2017.6, 885-891 (7 pages)
- [12] Jong-Yong Wang, Byung-Ki Kim, Jea-Bum Park, Byung-Mok Kim, Eung-Sang Kim, Dae-Seok 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 65(5), 2016.5, 760-768.
- [13] Daeseok 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 66(6), 2017.6, 885-891 (7 pages)

## 저 자 소 개



### 강민관 (Min-Kwan Kang)

2005년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과(공학사), 2007년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사), 2016년 9월~현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중  
<관심분야> 신재생에너지, 전력계통, 마이크로그리드



### 최성식 (Sung-Sik Choi)

2010년 5월 : 한국기술교육대학교 정보통신공학부(공학사), 2014년 8월 : 동대학원 전기공학과(공학석사), 2015년 2월~현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학중  
<관심분야> 배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로 그리드, 품질해석, ESS



### 남양현 (Byung-Mok Kim)

2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사), 2016년 9월~현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학 석사과정 재학 중  
<관심분야> 배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드



### 이후동 (Hu-Dong Lee)

2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사), 2016년 9월~현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학 석사과정 재학 중  
<관심분야> 신재생에너지, 마이크로그리드



### 박지현 (Ji-Hyun Park)

2017년 2월 : 제주대학교 태양광에너지공학과(공학사), 2017년 9월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학중  
<관심분야> 신재생에너지, 전력계통, 마이크로그리드



**노 대 석 (Dae-Seok Rho)**

1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사), 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과(공학석사), 1997년 3월 : 일본 북해도대학교대학원 전기공학과(공학박사), 1987년 3월~1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원, 1999년 3월~현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수  
〈관심분야〉 전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석