

# 독립형 신재생발전 시스템의 효율적인 운영을 위한 배터리 용량산정에 관한 연구

## A Study on Sizing of Battery for Effective Operation of Stand-alone Renewable Generation System

신 희 상\* · 허 재 선\*\* · 윤 상 윤†

(Hee-Sang Shin · Jae-Sun Hue · Sang-Yun Yun)

**Abstract** - This paper presents the method of ESS energy capacity calculation for stand-alone renewable energy generation system consisting of photovoltaic energy. There is almost no power from photovoltaic system during sunless days. So this source is very weak in terms of the power supply reliability. To improve problem of power supply, battery is mainly used Energy Storage System(ESS). The number of sunless days and Depth of Discharge(DOD) is important factor to determine energy capacity of battery. However, a many study for economical design is required due to the high cost of ESS. In this paper, we propose the new method of ESS energy capacity calculation by applying different DOD for operation with and without sun. We determine the Battery capacity using higher DOD of operation during sunless day than the DOD of the normal operation. And we carried out an economic analysis of the calculation results.

**Key Words** : Stand-alone generation system, Photovoltaic energy, Battery, Depth of discharge(DOD)

### 1. 서 론

최근 화석연료의 고갈에 대한 불안감으로 인해 다양한 형태의 신재생전원을 활용한 발전시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 태양전지와 풍력터빈이 가장 가능성 있는 신재생전원으로 각광을 받고 있으며 특히 육상계통과의 연계가 어려운 도서지역의 경우에 독립적인 전원 구축이 필수적이다. 이러한 도서지역을 대상으로 신재생전원을 활용한 발전시스템 구성에 많은 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 정부주도 하에 가파도를 시작으로 가사도, 울릉도와 같은 도서지역에 에너지 자립섬 프로젝트가 진행 중이다. 하지만 태양광과 풍력에너지는 주변 기후조건의 영향을 많이 받기 때문에 출력의 간헐성과 예측의 어려움이 단점으로 지적되고 있다[1-3]. 특히 태양광에너지의 경우 부조일이 발생하게 되면 전력생산이 거의 없기 때문에 전력공급의 신뢰도 측면에서 매우 취약하다고 할 수 있겠다[4, 5]. 독립된 발전시스템에서 신재생전원의 취약한 공급신뢰도를 보완하기 위한 가장 효율적인 대책 중에 하나는 에너지 저장장치(ESS : Energy Storage System)의 활용이다. 전력생산이 풍부할 때 에너지를 저장했다가 수요가 급증하거나 전력이 부족할 경우에 저장된 에너지를 방출하는 역할을 하게 된다.

본 논문에서는 주전원이 태양광으로 구성된 독립형 발전시스템에서 안정적인 전력공급을 위한 ESS의 용량을 결정하는 방안을 제시한다. 앞서 언급했듯이 태양광 발전시스템의 구성에서 부조일은 ESS의 용량을 설계하는 단계에서 매우 중요한 부분을 차지한다. 하지만 아직까지 ESS의 높은 단가로 인해 합리적이고 경제적 설계에 대한 깊은 연구가 필요하다. 부조일 수를 고려한 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 구성과 관련해서 기존에 다양한 연구가 진행되었다[5-8]. 참고문헌 [5]와 [6]에서는 최대부하와 부조일 수를 고려한 배터리의 용량 산정식을 제안하였다. 하지만 이 산정식은 ESS의 용량이 매우 크기 때문에 비실용적이고 실제 이용률이 낮다. 참고문헌 [7]과 [8]은 최대부하 대신에 1일 누적부하량을 통한 배터리의 용량 산정식을 제안하였다. 참고문헌 [7]은 기존연구의 용량산출방안에 상세한 에너지변환계수를 적용하여 개선된 용량 산정식이다. 그리고 참고문헌 [8]은 태양광의 출력과 실부하의 패턴을 활용하였다. 잉여전력과 부족전력의 비교를 통해 정상운전 시에 필요한 배터리의 용량을 산정하고 1일 평균 누적부하량을 활용하여 부조일시 필요한 배터리의 용량을 산출하였다. 부조일 시에도 정상운전과 동일한 방전심도(DOD : Depth of Discharge)를 고려하여 용량이 산정되었다. 하지만 연중 정상일 대비 부조일의 빈도는 낮기 때문에 이를 고려한 용량 산정방안이 필요하다.

본 논문에서는 정상운전 시와 부조일 운전 시 다른 방전심도를 적용하여 용량산정하는 방안을 제안한다. 정상운전 시에 비해 높은 방전심도를 통해 부조일 운전시의 필요한 ESS의 용량을 산정하고 산정된 ESS의 경제성을 검토하였다. 논문의 구성은 2장에서는 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 구성을 설명하고 부조일과 배터리의 방전심도가 시

† Corresponding Author : Department of Electrical Engineering Chonnam National University, Korea

E-mail : drk9034@jnu.ac.kr

\* Korean Intellectual Property Office, Korea

\*\* Hyosung Power & Industrial systems Research Center, Korea

접수일자 : 2018년 2월 14일

최종완료 : 2018년 2월 26일

템 설계에 미치는 영향을 정리하였다. 3장에서는 기존의 용량 산정식을 분석하고 본 논문에서 제안하는 용량 산정방안에 대해 설명하였다. 4장에서는 사례연구를 통해 산정식의 적합성과 경제성을 분석하였다.

## 2. 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 구성과 설계시 고려사항

### 2.1 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 구성

독립형 태양광-ESS 발전시스템은 일반적으로 단독가구나 소규모 가구를 대상으로 계획되고 구성된다[7]. 그림 1은 DC (Direct Current) 망으로 연계된 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 전형적인 구성을 나타낸다[9]. 전원의 구성은 신재생전원인 태양광 또는 풍력터빈, 전력의 충전 및 방전을 위한 ESS, 전력공급의 안정성을 확보하기 위한 비상용 디젤발전기, 그리고 부하로 이루어져 있다. 신재생전원을 통해 생산된 전력은 인버터를 거쳐 부하에 공급된다. 부하에 공급하고 남은 전력은 ESS를 통해 저장한다. 그리고 신재생전원의 출력이 공급해야 부하의 크기보다 적을 경우 ESS에 충전된 전력을 부하에 공급하여 전력수급의 평형을 유지한다. 비상용 소형발전기는 부조일 및 무풍일과 같은 전력생산이 없고 ESS에 충전된 전력이 모두 방전되었을 경우와 같은 유사시에 부족한 전력을 공급하기 위한 비상용 설비이다.

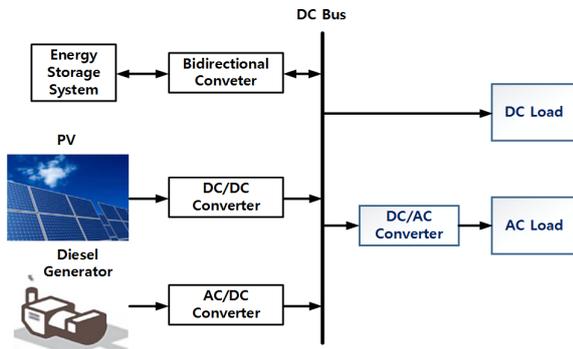


그림 1 태양광-ESS 발전 DC시스템  
Fig. 1 DC coupled configuration of PV - ESS based generation system

### 2.2 방전심도와 부조일이 태양광-ESS 선정에 미치는 영향

독립형 태양광-ESS 발전시스템을 구성함에 있어서 가장 선행되어야 할 것은 수용가의 계절별, 시간별 사용전력의 패턴 분석뿐만 아니라, 태양전지의 용량 산정을 위한 일사량, 온도를 조사하고 분석하는 것이다[8]. 이를 통해 수용가에 전력공급을 위한 태양광 설비의 용량을 결정하게 된다. 계통 연계 방식과 달리 독립형 발전시스템의 경우 태양전지로부터 생산된 전력량과 수용가의 사용전력량을 일치시켜야 한다[9]. 특히, 독립형 태양광-ESS 발전시스템을 구성함에 있어서 중요하게 고려해야 되는 요소가 부조일이다. 부조일수는 전력생산량과 직접적인 관련이 있기 때문에 부조일수 동

안의 부족전력에 대한 대책이 절대적으로 필요한 부분이다. 국내의 부조일 분포는 지역마다 상이하기 때문에 대상지역의 분석을 통해 고려하고자 하는 부조일수를 선정해야 한다. 표 1은 국내 특정 지역의 1년간 비, 구름, 흐림, 눈으로 인해 발생한 부조일의 분포를 나타낸다[7]. 부조일 수를 1일로 고려하여 용량산정을 하게 되면 연중 154일은 비상발전기가 가동해야 하는 상황이 발생하게 된다. 따라서 적절한 부조일수를 선정하는 것이 중요하다. 기존의 연구에서는 일반적으로 4일의 부조일을 용량 산정에 고려하고 있다[4-8].

ESS를 선정할 때는 전압전류특성 등의 전기적 성능, 비용, 수명, 보수성, 안정성과 경제성을 감안하여 최적의 것을 선택해야 한다[7]. 특히 태양광이나 풍력 등의 발전에 의한 충, 방전은 주변기후에 크게 좌우되며 매일 충, 방전을 반복하고 충전상태도 일정하지 않기 때문에 평균적인 방전심도를 설정하여 ESS를 선정해야 한다. 배터리의 방전심도는 배터리의 방전용량에 대한 비율을 나타내는데 방전횟수, 사용 온도, 등에 크게 영향을 받으며 그림 2와 같이 전원시스템용

표 1 수원지방의 부조일 수(2010.11~2011.10)  
Table 1 The number of sunless days at Soo-Won(2010.11~2011.10)

Month	Emergency-gen operation time caused by Sunless days			
	1day	2days	3days	4days
11	8	6	-	-
12	4	2	-	-
1	9	6	-	-
2	9	9	7	4
3	7	5	3	-
4	11	7	3	-
5	18	17	15	12
6	17	15	9	9
7	25	25	22	22
8	24	24	22	19
9	12	12	10	7
10	10	9	7	4
Total	154	137	98	77

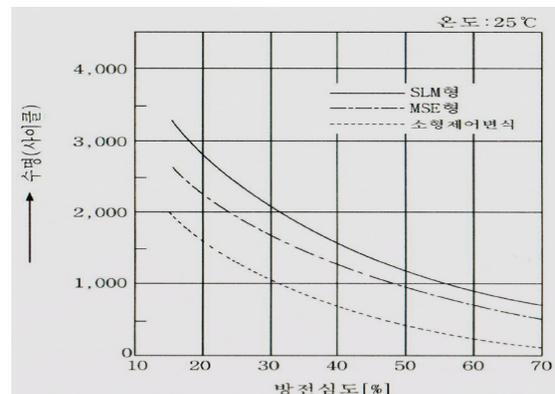


그림 2 배터리의 방전심도와 수명과의 관계  
Fig. 2 Depth of discharge vs cycle life

배터리의 기대수명(cycle)은 방전심도와 직접적으로 관련이 있다[10]. 낮은 방전심도의 운영은 긴 수명을 확보할 수 있지만 큰 용량을 요구하게 되며 반대로 높은 방전심도의 운영은 적은 배터리 용량으로 활용할 수 있지만 짧은 수명의 단점을 갖게 된다.

앞서 언급했듯이 부조일과 ESS의 방전심도는 ESS의 용량을 선정함에 있어서 반드시 고려돼야 하며 시스템 설계단계에서 가장 중요한 부분이다. 현재까지 독립형 발전시스템의 비용적인 측면에서 ESS가 차지하는 비율은 상당하다. 따라서 효율적이고 경제적인 ESS의 용량과 운영 전략을 결정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

### 3. 태양광-ESS 발전시스템의 ESS 용량 산정

#### 3.1 기존의 부조일을 고려한 ESS 용량 산정식

기존의 배터리 용량 산정에 관한 연구는 많은 발전을 이루었다. 참고문헌 [5]에서는 최대부하와 부조일만을 고려하고 참고문헌 [6]에서는 배터리의 에너지변환 효율과 방전심도를 산정식에 반영하였다. 참고문헌 [5]와 [6]의 산정식은 최대부하를 고려하여 필요 이상의 배터리 용량이 산출되었다. 그리고 참고문헌 [7]에서는 앞선 제안식의 요소들을 고려하여 상세한 용량 산정식을 식 (1)과 같이 제안하였다. 식 (1)은 1일 누적부하량과 축전기 보수효율, 인버터 효율, 배터리의 방전심도, 배터리의 공칭전압을 포함하여 독립가옥의 축전기 용량 설계를 제안하였다.

기존의 산정식의 부하량 또는 태양전지의 정격만을 고려하는 방식을 개선하기 위해 참고문헌 [8]에서는 실부하 패턴을 활용하는 방안을 식 (2)와 같이 제안하였다. 식 (2)의 첫째 항은 실부하 패턴 분석을 통해 도출된 부족전력의 누적치를 분석하고 최대 누적부족전력량을 선정하였다. 그리고 둘째 항은 1일 누적부하량과 방전심도, 충·방전 효율을 고려하여 산출하였다. 식 (2)는 기존의 산정식과 달리 정상운전 이후에 발생하게 되는 부조일 운전을 고려한 식으로 기존의 제안식보다 현실적인 산정식이 될 수 있다. 하지만 정상운전과 부조일 운전에 대해 동일한 방전심도를 적용함으로써 비용적인 측면에서 과설계 될 수 있다.

$$AH_{[1]} = \frac{P_{load} \times n}{V_{bat} \times d \times \eta \times \zeta} \quad (1)$$

$$AH_{[2]} = \int_{t_s}^{t_e} \frac{P_{lack}}{V_{bat} \times d \times \psi} dt + \frac{P_{load}}{V_{bat} \times d \times \psi} \times n \quad (2)$$

- AH : 배터리용량[Ah]
- P<sub>max</sub> : 최대부하소비전력[W]
- n : 부조일수[Day]
- V<sub>bat</sub> : 배터리공칭전압[V]
- I<sub>max</sub> : 최대누적부하전류[A]
- t<sub>max</sub> : 최대배터리사용시간[h]
- η : 배터리보수효율
- ζ : 인버터효율
- P<sub>lack</sub> : 충전시 순시적 부족전력량[W]
- V<sub>bat</sub> : 배터리공칭전압[V]

- t<sub>s</sub> : 부족 전력량누적 시작 시간[h]
- t<sub>e</sub> : 부족 전력량누적 끝 시간[h]
- d : 방전심도(DOD)
- P<sub>load</sub> : 1일 누적부하량[Wh/일]
- ψ : 충방전 효율

#### 3.2 부조일시 운영방안을 고려한 ESS의 용량산정 방안

앞선 용량 산정식의 불합리적 조건을 보완하고 경제적인 ESS의 용량을 산출하기 위해 본 논문에서는 정상운전과 부조일 운전에 대해 다른 방전심도를 적용하여 ESS의 용량을 산정하고자 한다. 부조일의 운전과 정상운전의 빈도는 표 1에서 보는 것과 같이 약 2배 이상 차이가 난다. 특히 기존의 연구에서 대부분 고려하고 있는 부조일은 4일이다. 정상일과 4일 연속인 부조일의 빈도는 5배 이상이다. 따라서 정상일과 부조일의 용량산정을 동일한 방전심도를 적용하는 것은 비효율적이다. 본 논문에서는 정상일에 대한 방전심도와 부조일에 대한 방전심도를 분리하여 용량을 산정하고자 한다. 식 (3)은 본 논문에서 제안하는 ESS 용량 산정식이다. 정상운전에 대한 용량산정항의 방전심도(d<sub>n</sub>)와 부조일 운전에 대한 용량산정항의 방전심도(d<sub>e</sub>)를 결정한다. 정상운전을 위한 방전심도는 기존연구에서와 마찬가지로 0.5로 정하고 부조일 운전을 위한 방전심도는 0.7로 정한다. 앞서 언급했듯이 부조일 운전의 빈도는 낮기 때문에 상대적으로 큰 방전심도로 적용해도 ESS 수명에 심각한 영향을 미치지 않는다. 따라서 식 (3)은 식 (2)에 배터리 보수효율을 적용하면서 보다 현실적인 산정식을 제안하였다.

$$AH_{propose} = \int_{t_s}^{t_e} \frac{P_{lack}}{V_{bat} \times d_n \times \eta \times \zeta} dt + \frac{P_{load}}{V_{bat} \times d_e \times \eta \times \zeta} \times n \quad (3)$$

- d<sub>n</sub> : 정상운전의 배터리방전심도
- d<sub>e</sub> : 부조일 운전의 배터리방전심도

### 4. 사례연구를 통한 ESS 용량 산정식의 비교 분석

#### 4.1 사례계통 구성 및 용량산출 결과

기존의 ESS 용량 산정식과 본 논문에서 제안하는 ESS 용량 산정식을 비교하기 위해 동일한 조건의 사례계통을 참고문헌 [7]을 활용하여 구성하고 사례계통의 발전시스템 운영방안을 정리한다. 표 2는 독립가구에서 사용할 수 있는 일반적인 전기기구들에 대해 월 소비전력량을 나타낸 것이다 [7]. 최대 소비전력의 합은 1,812[W]이며, 월 총 소비전력은 145.86[kWh]이다.

표 2를 통해 산출된 독립가구에서 필요한 발전용량은 약 145[kWh]이고 이를 1.2[kW]의 태양전지와 200[kW]의 풍력발전기로 구성하고 태양광의 1일 평균 발전시간을 약 4시간, 풍력발전기의 1일 발전시간을 2.4시간으로 적용하면 한 달 동안 발전가능예상량은 약 158.4[kWh]로 산출된다[7]. 식 (1)~(3)에 적용된 각각의 파라미터는 표 3과 같이 동일하게 적용한다[5]. 그리고 식 (2)와 식 (3)의 각 첫째항의 부족전력(Plack)의 누적치는 실부하와 발전전력의 패턴의 비교를

**표 2** 독립가옥 월 사용전력량 추정

**Table 2** Amount of consumed power in one month per a house

Load type		Rated power [W]	Consumption power [kWh/month]	
Lamp	living room 1, room 2	140	12	LED
Refrigerator	760L	350	39	
Washing machine	13[Kg]	550	10	
TV	LED 32inch	200	48	8h
PC	Note PC	200	3.2	4h
The others	30[%]	372	33.66	
Total		1,812	145.86	

통해 산출된다. 첫째항의 값을 결정하기 위해 참고문헌[7]의 부족전력(Plack)의 누적데이터를 식 (2)와 식 (3)에 동일하게 적용하였다 식 (3)의 첫째 항은 48[Ah]로 산출되었다. 표 3을 적용하여 계산된 식(1)~(3)의 각각의 결과를 정리하면 표 4와 같다. 본 논문에서 제안한 식 (3)의 결과는 220[Ah]로 산출되었고 이는 식(1)과 식 (2)에 비해 각각 약 9%와 4%의 용량이 감소한 형태를 보인다. 식 (1)과 비교하면 식 (3)은 정상운전과 부조일을 모두 고려했음에도 적은 용량의 결과를 보이고 있다. 그리고 식 (2)와의 차이는 설비의 적용된 에너지변환 효율계수와 부조일 운전에서의 운전한계 방전심도의 차이가 결과에 반영된 것이다.

**표 3** 시스템 파라미터

**Table 3** System parameter

Pmax	Imax	tmax	Vbat	n
1,812[W]	7.55[A]	7 [h]	240[V]	4 [day]
$\eta$	$\zeta$	d	Pload	$\psi$
0.75	0.95	0.5	4,862 [Wh/day]	0.85

**표 4** 배터리 용량 산출 결과

**Table 4** Calculation results of capacity of battery

Parameter	Eq. (1)	Eq. (2)	Eq. (2)
ESS capacity[Ah]	240	229	220

**4.2 태양광-ESS 발전시스템의 경제성 분석**

4.1절의 결과에서 제안한 식의 결과는 기존의 용량 산정식의 결과보다 적은 용량을 도출했다. 하지만 2.2절에서 언급했듯이 적은 용량의 ESS는 짧은 수명을 갖게 된다. 따라서 산정된 용량에 대한 기대수명의 비교를 통해 경제성에 대한 검토가 필요하다. 참고문헌 [7]에서는 5년간 시스템 운

영비용을 부조일수에 따른 결과를 비교하여 검토하였다. 본 논문에서는 참고문헌 [7]의 시스템 운영비용 산출 방식을 활용하여 4일의 부조일수에 대한 시스템 운영비용 및 ESS의 수명을 산출하여 경제성을 검토하였다. 참고문헌 [7]을 바탕으로 다음과 같이 시스템의 운영을 가정하였다.

- (1) 정상운전시, 낮에 ESS를 충전하고 태양전지의 발전이 없을 때 방전하여 하루 1회 충,방전을 시행.
- (2) 부조일 운전시, 부조일인 4일 동안에 비상용 발전기를 사용하지 않고 ESS는 부조일방전심도(de)까지 방전가능하고 de에 도달하면 ESS의 방전을 정지하고 비상용발전기를 통해 전력을 공급한다.
- (3) 연속부조일 4일 이후에 ESS를 부조일 동안 방전된 전력을 비상용발전기를 통해 충전한다. 비상용발전기를 통해 충전하게 될 경우 ESS 방전량과 부하량을 고려하여 발생 부조일당 3시간의 발전기 가동이 요구된다.
- (4) 비상용발전기와 ESS의 비용은 용량에 선형적으로 비례하고 비용 및 파라미터는 표 5와 같다.

표 6은 식 1과 3에서 산출한 ESS를 가지고 5년간 운영한다고 가정했을 경우의 시스템의 운영비, 발전기와 ESS의 수명을 계산한 결과이다. 발전기 가동일은 표 1의 년간 부조일

**표 5** 비상용 발전시스템과 배터리 구성 파라미터

**Table 5** The parameter generator and battery for simulation

Equipment	Parameter	Value
Emergency generator	maximum power output	3.0[kVA]
	operation type	auto
	cost	987,000[₩]
	fuel type	gasoline
	generation value per liter	2.5[kWh/liter]
	life time	1,000[h]
	gasoline cost	2,000 [₩/liter]
ESS Type	cell type	MSE type(fig.2 ref.)
	cost (*60AH)	1,400,000[₩]

**표 6** 배터리 용량에 따른 5년간의 에너지저장장치 운영비 비교

**Table 6** Operation cost during 5 years according to battery capacity

Parameter	Eq. (1)	Eq. (3)
ESS capacity [Ah]	240	220
emergency gen operation time (for 5years ref.) [days]	385	385
ESS investment cost, fuel cost (for 5years ref.) [₩]	9,413,082	8,938,956
gen replacement (1000 [h]) [times]	1.15	1.15
ESS life time [years]	8.6	8.1

4일을 기준으로 산출한 결과이다. 발전기 가동일과 발전기 교체횟수는 발전시스템의 운영방안이 동일하다고 가정했을 경우, 동일한 결과가 산출되었다. 시스템 운영비는 발전기의 연료비, 유지보수비, ESS의 가격을 포함한다. 따라서 ESS의 용량에 따른 비용의 차이를 보이고 있다.

그리고 ESS의 수명산출을 위해 참고문헌 [11]의 ALD 계산식을 활용하여 식 (4)와 같이 적용하였다. 여기서 LCF(d)는 방전심도에 따른 수명(cycle)을 나타낸다. 연간 부조일수와 고려한 부조일수는 각각 77일과 4일로 가정하여 산출하였다. ESS의 수명은 ALD의 역수이다. 시스템 총비용은 제안한 방안이 기존의 방안에 비해 약 8.4%의 절감 효과를 보였다. 반면에 수명은 약 6% 단축되는 것으로 도출되었다.

$$ALD = \frac{1}{LCF(d_n)} \times (365 - \text{년간부조일수}) + \frac{1}{LCF(d_c)} \times \frac{\text{년간부조일수}}{\text{고려한부조일수(4일)}} \quad (4)$$

## 5. 결 론

본 논문에서는 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 안정적인 운영을 위한 ESS의 용량을 산정하기 위한 논문이다. 태양광설비는 부조일에 민감한 전력생산 패턴을 갖고 있으며 발전시스템 구성시 중요하게 고려되어야 한다. ESS는 태양광설비의 특징적인 발전패턴을 보완하기 위해 반드시 협조되어야 하는 설비로써 방전심도와 수명은 직접적인 관계에 있다. 결국 독립형 태양광-ESS 발전시스템의 구성은 부조일과 ESS의 방전심도를 고려한 설계가 필요하다. 이러한 이유로 본 논문에서는 기존의 연구에서의 불합리적인 부분을 개선하고 경제적인 ESS 설계를 위한 ESS의 용량 산정식을 제안하였다. 기존의 방전심도를 정상운전과 부조일 운전을 동일하게 적용한 기존의 연구로부터 연중 부조일 운전의 빈도가 낮은 점에 착안하여 부조일 운전의 방전심도를 정상운전보다 크게 설정하는 방식을 채택하였다. 그 결과 ESS의 용량은 기존방안에 비해 약 4% 감소된 220[Ah]로 산출되었다.

그리고 참고문헌 [7]의 운전비용 산정식을 활용하여 5년 운영에 대한 비용을 검토하였다. 분석결과 시스템 총비용은 제안한 방안이 기존의 방안에 비해 약 8.4%의 절감 효과를 보였다. 반면에 수명은 약 6% 단축되는 것으로 도출되었다.

물론 동일한 운전조건에서 산출된 용량이 적어짐에 따라 설치비용과 수명이 같이 감소하는 것은 당연한 결과이지만, 수명단축 비율에 비해 비용절감의 효과가 더 크게 발생했다. ESS의 특성과 가격에 따라 본 논문과 다른 결과를 도출할 수도 있다. 또한 설계방향에 따라 ESS의 수명을 더 중요하게 고려해야 할 경우도 존재할 것이다. 하지만 정상운전과 다른 방전심도를 고려하여 설계하고 부조일에 대한 운영 전략을 수립하는 것은 충분히 활용할 가치가 있다고 사료된다. 향후 연구에서는 ESS의 특성과 가격의 변동, 운전방전심도를 고려한 최적 설계에 대한 연구를 진행하고자 한다.

## References

- [1] F. Valenciaga, P. F. Puleston, and P. E. Battaiotto, "Power Control of a Solar/Wind Generation System without Wind Measurement : A Passivity/Sliding Mode Approach," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 18, no. 4, pp. 501-507, Dec. 2003.
- [2] Korea Institute of Machinery & Materials, "Modeling, Analysis and Design Tech. Development of Hybrid Generation System with Wind Turbine and Diesel Generator," 2011.
- [3] KEPCO, A Study on Standards of Renewable Energy for Remote Island, Ministry of Knowledge Economy Report, 2012.
- [4] R. H. Wai, W. H. Wang, and C. Y. Lin, "High-performance stand-alone photovoltaic generation system," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 1, pp. 240-250, Jan. 2008.
- [5] Woo-Hee Lee, Mi-Young Lee, Jun-Ha Lee, and Hoong-Joo Lee, "Calculation of capacity of solar cell and batter for stable solar system design," *Journal of academia-industrial technology*, vol. 6, no. 5, pp. 396-400, 2005.
- [6] Hee-Sung Moon, Gyu-Yeong Choe, Jong-Soo Kim, and Byoung-Kuk Lee, "Comparison and Analysis of Battery Capacity Estimation Method of Domestic Stand-Alone Photovoltaic System," *KIEE spring conference*, 2009.
- [7] Byoung-Soo, Chio, "The Study on Stand Alone Pico Grid System Utilizing Renewable Energy," *doctor's thesis, Dept. Electric. Eng.*, Univ. Soongsil, 2012.
- [8] Hee-Sung Moon, Gyu-Yeong Choe, Jong-Soo Kim, and Byoung-Kuk Lee, "Photovoltaic System Operation Optimal Technique Considering Climate Condition and Residential Loads Pattern," *the trans. of KIEE*, vol. 58, No. 12, 2009.
- [9] Anurag Chauhan n, R.P.Saini, "A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications : Configurations, storage options, sizing methodologies and control," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 99-120, 2014.
- [10] Soon-Hyoung LEE, "Photovoltaic Power Generating system," *kidari*, pp. 103 Apr. 2008.
- [11] Sung-Min Cho, "Optimal BESS Sizing for Customer using New Model Considering Efficiency and Life Cycle," *doctor's thesis, Dept. Electric. Eng.*, Univ. Soongsil, 2012.

## 저 자 소 개



### 신 희 상 (Shin, Hee Sang)

2007년 숭실대 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대한민국 특허청 심사관.

E-mail : shs8828@ssu.ac.kr



### 허 재 선 (Hue, Jae-Sun)

2009년 숭실대 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2016년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 효성중공업 연구소 책임연구원.

E-mail : jasonh@ssu.ac.kr



### 윤 상 윤 (Yun, Sang Yun)

2002년 숭실대 전기공학과 졸업(박사). 2003~2009년 LS산전(주) 전력연구소 책임연구원. 2010~2016년 한전 전력연구원 책임연구원. 2016년~현재 전남대학교 전기공학과 부교수.

E-mail : drk9034@jnu.ac.kr