

국내 독립형 태양광발전시스템의 배터리 용량산정 비교분석

문희성, 최규영, 김종수, 이병국
성균관대학교 정보통신공학부

Comparison and Analysis of Battery Capacity Estimation Method of Domestic Stand-Alone Photovoltaic System

Hee-Sung Moon, Gyu-Yeong Choe, Jong-Soo Kim, Byoung-Kuk Lee
School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문에서는 여러 회사의 태양광용 배터리의 용량을 산정하는 방법을 비교하였다. 각 회사의 배터리 용량 산정방법의 장점과 단점을 분석하였으며 태양광 발전이 3kW, 부하는 가정용부하라고 가정하였을 때 각 회사의 배터리 용량산정수식을 통해 배터리 용량의 차이를 예시를 통해 정량적으로 비교분석을 수행하였다.

전력저장장치가 적용된 독립형 PV 시스템에서 부하에서의 전력 소모량보다 발전량이 더 많은 주간동안에는 배터리에 전기를 저장하고, 부하량이 발전량보다 더 많은 경우나 발전하지 않는 야간에는 배터리에 충전되어 있던 전력을 방전하여 에너지원으로 사용하게 된다. 배터리의 잔존용량(SOC, Stage Of Charge)은 충방전에 따라 달라지며 그 값은 식 (1)과같이 전류와 시간의 함수로 나타내진다.

1. 서 론

$$SOC = SOC_0 + \int I dt \quad (1)$$

국제적인 환경문제 및 석유자원의 고갈로 인해 미래에너지로 각광 받고 있는 태양광발전은, 태양의 복사에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 시스템이다. 가동부나 열기관이 없어 수명이 길고 다른 발전방식에 비해 운전과 유지보수가 용이하며 모듈로 구성하기 때문에 수요나 지형에 맞게 설계할 수 있다는 장점이 있다 [1]. 독립형 태양광발전 시스템은, 전력계통으로부터 전력을 공급받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인도 등에 Battery energy storage system (BESS)를 이용하여 DC 부하 또는 AC부하에 전력을 공급하는 용도로 사용 된다 [2]. 3면이 바다로 둘러 쌓여있는 한국의 경우, 섬의 총 개수가 3153개이고 이중 유인도는 464개, 무인도는 2689개나 되어 독립형태양광발전을 적용하기에 적합한 환경을 가지고 있다. 이 많은 섬들 중, 유인도의 대부분 지역에서는 현재 디젤을 사용하여 발전을 하고 있다. 하지만 디젤의 경우 연료수송의 어려움, 경제적인 측면, 낮은 빙점으로 인한 겨울철 사용의 어려움 등의 문제가 있어서 도서지방에서 사용하지 적합하지 않기 때문에 최근 한국의 도서지방에서는 주 전원을 독립형 태양광발전으로 바꾸는 추세이다.

여기서 SOC는 충전상태, SOC₀는 초기충전상태, I는 배터리의 충/방전전류를 의미한다. 배터리를 충전시 SOC의 증가 및 배터리 전압의 증가를 하게되고, 방전시에는 SOC의 감소 및 배터리 전압이 감소하는 특성을 갖는다. 배터리의 충·방전 특성에서, 배터리의 동작은 SOC 와 발전량/부하량의 관계에 의존적이며 그에 따른 세부내용은 아래와 같다 [3].

1. 발전량 > 부하량

a) SOC > 배터리의 용량

만충전된 상태이므로 잉여전력은 배터리에 저장되지 않고 버려지는 에너지가 된다. 만충전지점에서 충전을 종료하지 않을 경우 많은 열이 발생하고 배터리에 손상을 주어 배터리 수명을 단축시키는 원인이 된다.

b) SOC < 배터리의 용량

배터리가 과도하게 충전되어있지 않은 상태이므로 배터리에서 잉여전력을 흡수한다.

2. 발전량 < 부하량

a) SOC > 배터리 용량의 20%

부하에서 필요한 부족전력만큼 배터리에서 공급한다.

b) SOC < 배터리 용량의 20%

부하에서 필요한 전력을 배터리에서 공급해 주지 못한다.

계통연계형 태양광발전과 다르게, 독립형 태양광발전의 경우 직접 부하에 연결이 되기 때문에 PV (Photovoltaic)의 출력전력과 부하의 필요전력 사이의 균형이 무엇보다 중요하다. 발전된 전력과 소비되는 전력의 차이만큼이 배터리에 충/방전되기 때문에, 배터리를 최적 설계하는데 있어서 발전되는 전력과 소비되는 전력의 패턴을 아는 것은 필수적인 요소이다.

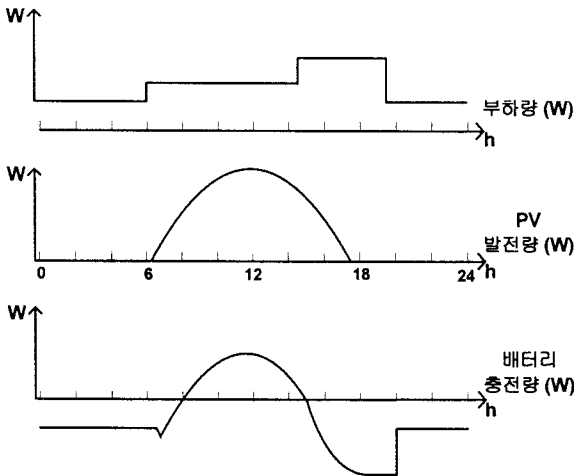
본 논문에서는, 국내 독립형 태양광발전 시스템의 설계 및 시공을 하고 있는 신뢰도 높은 3곳의 회사를 선정하여 배터리 용량 산정하는 방법을 고찰하였고 각각의 방법이 갖는 강점 및 취약점에 대해 논의하였다. 또한 실 가정의 부하 전력사용량과 패턴을 고려하여 현재 사용하고 있는 방법의 예시를 들어 각 회사의 배터리 용량 산정 방법이 큰 차이가 있음을 보였고, 그 결과 안정적으로 발전 가능한 보급형 독립형 태양광발전용 배터리를 설계하는데 있어서 일반화 된 척도가 필요함을 제안한다.

따라서 발전량과 부하량의 관계에 따른 잉여/부족전력이 배터리의 충/방전과 안정적인 운전에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 독립형 태양광발전시스템의 배터리 용량 산정 시 에너지원과 부하에 대한 정보가 필수적인 요소가 됨을 알 수 있다.

하루의 부하량과 발전량의 패턴을 임의로 가정하였을 때 배터리의 충전상태를 살펴보면 그림 1과 같다.

2. 본 론

2.1 독립형 PV시스템에서의 전력저장장치



<그림 1> 발전량과 부하량에 따른 배터리 충/방전상태

2.2 기존의 배터리 용량 산정 방법 비교

현재, 국내의 경우 독립형 태양광발전에서 배터리 용량 산정하는 방법에 대한 규정이나 제한이 법률로 정해져 있지 않은 상황이다. 따라서 배터리 설계를 하는 회사마다, 혹은 독립형 태양광 발전 설비를 설치하는 지방자치단체마다 배터리 설계 시 정해진 표준이 없이 각자의 방법이나 상황을 고려하여 배터리의 용량을 설계하고 있다.

실제 국내에서 독립형 태양광발전용 배터리의 용량을 산정하고 시공하는 회사 세 곳의 방법을 조사했다. 이 회사 세 곳을 임의로 회사 'A', 'B', 'C'사라고 하고 각사의 배터리 용량산정 방법의 장/단점 및 예시이며 이를 통해 표준화 된 가이드라인의 필요성을 제안한다.

2.2.1 'A'사의 배터리 용량산정법

'A'사는 식 (2) 을 이용해 배터리 용량을 산정한다.

$$AH = \frac{P_{\max} \times 24 \times n}{V_{\text{bat}}} \quad (2)$$

여기서,

AH : 배터리 용량 [Ah]

P_{\max} : 최대부하소비전력 [W]

n : 부조일수 [Day]

V_{bat} : 배터리 공칭전압 [V]

(1)에서 숫자 24는 하루의 시간을 나타내고 있으며, 이것은 부조일수 n 일을 고려하여 최대부하전력이 하루 24 시간동안 온전히 배터리에 충전된 전력을 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 'A'사에서 용량을 산정한 배터리를 사용했을 시, 배터리의 용량이 아주 크기 때문에 부조일수를 고려한 독립형 태양광발전에서 부하에 안정적으로 전력을 공급할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 태양광 설치 시점시의 부하량보다 부하가 추후 증가하였을 때, 증가량만큼의 부하를 충분히 감당할 수 있다는 장점이 있다.

하지만 식 (1)을 이용했을 시, 실제 배터리 사용시간인 충/방전시간을 고려하여 배터리 용량이 설계된 것이 아니라, 24시간동안 배터리가 사용될 수 있도록 설계되어 용량이 불필요 하게 크기 때문에 최적 배터리 용량 대비 잉여 용량에 다른 큰 경제적 부담이 따르게 된다는 단점이 있다. 또한 국내의 섬들 중 섬 면적이 0.1km² 이하의 섬이 전체의 약 75%이상을 차지하는 등 규모가 작은 섬이 대부분이기 때문에 배터리의 용량이 커질 시 설치 공

간 확보에 어려움이 있다.

2.2.2 'B'사의 배터리 용량산정법

'B'사에서는 식 (3)와 같은 수식을 사용하여 배터리 용량을 산정하고 있다.

$$AH = \frac{I_{\max} \times t_{\max 1} \times n}{\eta \times \zeta \times d} \quad (3)$$

AH : 배터리 용량 [Ah]

I_{\max} : 최대부하전류 [A]

$t_{\max 1}$: 최대배터리사용시간 [Hour]

n : 부조일수 [Day]

η : 충전지 보수효율

ζ : 인버터 효율

d : 배터리 방전 심도

'B'사가 배터리 방전시간을 고려한데 비해, 'A'사는 배터리 방전시간을 24시간으로 설정해 놓은 것이 두 회사의 차이이다. 또한 'A'사에서 고려하지 않은 배터리 방전 심도와 인버터 효율, 충전지 보수효율과 같은 세부적인 요인들을 고려하여 'A' 회사보다 좀 더 세밀하게 배터리 용량을 산정하였다는 강점을 갖는다. 하지만 이 식에서도 배터리 용량 산정 시 최대부하전류를 고려하였다는 단점이 존재한다. 실제 배터리에서는 배터리 방전 시간동안 항상 최대부하전류 만큼의 전류를 사용하는 것이 아니라, 순시적으로 변하는 부하전류가 영향을 미치기 때문에 최대부하전류를 고려해 주는 것은 배터리의 용량을 적정한 용량보다 과도하게 크게 설계되도록 영향을 준다. 따라서 이 식을 이용할 경우, 부하의 패턴과 발전되는 전력패턴에 대한 정확한 정보를 알았을 때 최대 배터리 사용시간과 최대 부하전류에 대한 계산이 되므로 최적화 된 배터리 용량산정을 할 수 있다는 결론을 얻게 된다. 즉 이 식에서는 배터리의 사용시간이 중요한 요소가 되는데, 회사 'B'는 배터리 방전시간에 대한 기준이 정확하지 않고 대략적으로 5-7시간 정도로 너무 짧게 배터리 방전시간을 선정한다는 취약점을 가지고 있다.

2.2.3 'C'사의 배터리 용량산정법

$$AH = (I_{\max} \times 10\%) + (I_L \times t_{\max 2}) \quad (4)$$

AH : 배터리 용량 [Ah]

I_{\max} : 최대부하전류 [A]

$t_{\max 2}$: 부조일수를 고려한 최대배터리 사용시간 [Hour]

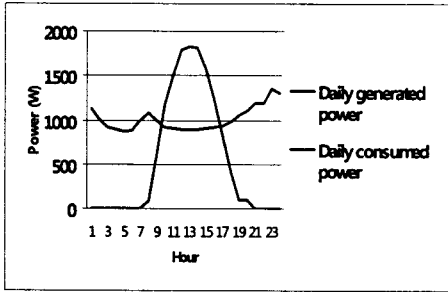
I_L : 부하 평균전류[A]

(4)의 수식을 이용하여 배터리 용량산정을 하는 'C'사의 경우, 부하의 최대전류와 평균전류를 모두 고려하였다는 측면에서 'A'사나 'B'사에 비해 강점을 갖는다. 하지만 이 회사의 방법은 하루에 배터리의 사용시간을 관습적으로 10시간으로 정하고 배터리의 용량을 산정한다는 단점이 있다. 이 수식에서 가장 영향을 많이 미치는 요인이 평균전류와 부조일수를 고려한 최대배터리 사용시간이므로, 배터리의 사용시간과 평균전류의 값을 예측할 때 세부적인 노력이 필요하며 부조일수를 필수적으로 고려해야한다.

2.2.4 예시를 통한 세 회사의 배터리용량산정법 비교

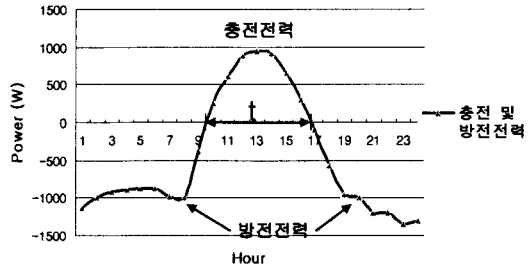
일반가정의 부하사용패턴과 3kW급의 PV발전을 기준으로 하여 위의 각 사가 사용하는 배터리용량산정방법의 비교를 수행하였다 [4]. 하루 동안 발전되는 전력과 소비

되는 전력의 패턴은 그림 2와 같다 [5].



<그림 2> 하루 동안의 발전전력과 소비전력패턴

크기 및 충/방전전류를 알 수 있다. 또한 배터리 충/방전 시간에 대한 정확한 데이터를 얻을 수 있게 되어 최적화된 배터리 용량산정이 가능할 것으로 기대된다.



<그림 3> 충/방전의 daily cycle

그림 2의 정보를 이용하여 식 (2)-(4)의 각각 파라미터에 대한 값들을 나타내면 아래 표 1과 같다.

표 1. 파라미터

P_{max}	I_{max}	I_L	t_{max1}	t_{max2}
1395W	5.81A	4.18A	7Hour	106Hour
V_{bat}	n	η	ζ	d
240V	4Days	0.7	0.8	0.9

I_{max} 는 P_{max} 를 V_{bat} 로 나눈값이 되겠으며, I_L 은 24시간 동안 전력의 적분을 V_{bat} 와 시간 24로 나누어 계산한 값이다. 부조일수 n 은 간헐적으로 사용하는 부하 등은 4일 정도를 적용하고 24시간 연속 사용하는 부하의 경우에는 6일 내외로 결정하는 것이 좋다. [6]. 표 1의 파라미터를 (2)-(4)의 수식에 적용하여 계산하면 표 2와 같다.

표 2. 예시에 대한 각 회사의 배터리 용량

배터리 용량[Ah]	A사	B사	C사
	558	322	401

표 2는 같은 용량으로 발전을 하고 같은 양의 전력을 소비한다고 가정된 상태에서 수행된 결과이다. 전제조건이 같은 상황에서 'A'사와 'B'사가 설계한 배터리 용량이 약 230Ah나 차이가 남을 알 수 있다. 이 결과를 통해, 현재 각 사에서 배터리 용량 산정하는 방법이 일반화 되어있지 않기 때문에 어떤 방법을 사용하는 것이 옳은 방법인지에 대해 인식하기 어렵게 되고, 또한 배터리에서 안정적인 전력 공급에 대한 신뢰도도 불확실하게 된다. 만약 각 사 모두가 안정적으로 발전을 하고 있다고 가정하더라도 그 배터리 용량이 가장 최적의 용량인지, 큰 배터리 용량인지에 대한 기준이 없기 때문에 불필요하게 경제적인 손해를 볼 가능성이 충분하다. 따라서 안정적으로 발전 가능한 보급형 독립형 태양광발전용 배터리를 설계하는데 있어서 일반화 된 지침이 필수적으로 필요하다.

본 논문에서는 그림 1의 자료를 이용하여 그림 3과 같이 충/방전의 daily cycle을 나타내어 보았으며 이는 식 (5)로 계산되어진다.

$$i_{bat} = \frac{P_{gen} - P_{load}}{V_{bat}} \quad (5)$$

여기서, i_{gen} 는 순시적인 배터리 충/방전 전류, P_{gen} 는 순시적인 발전전력, P_{load} 는 순시적인 부하소비전력, V_{bat} 는 배터리 공칭전압으로 240V이다.

식 (3)과 그림 3을 통해 실제적인 충/방전전력의 최대

식 (3)과 그림 3을 통해 실제적인 충/방전전력의 최대 크기 및 충/방전전류를 알 수 있다. 또한 배터리 충/방전 시간에 대한 정확한 데이터를 얻을 수 있게 되어 최적화된 배터리 용량산정이 가능할 것으로 기대된다.

3. 결 론

본 논문은 최적의 배터리 용량산정을 하기위하여 회사 세 곳의 배터리 용량 산정하는 방법에 대해 분석하였다. 또한 구체적인 예시를 통해 세 가지 방법이 어느 정도의 배터리로 용량산정이 되는지에 대한 비교·분석을 수행하였으며, 배터리 용량산정 시 필수적으로 고려해야 할 사항에 대해 고찰하였다. 또한 본 논문에서는 현재 이용되는 배터리 용량산정방법의 취약점 및 일반화되지 않는 방법으로 인해 안정적인 발전에 대한 신뢰도 문제가 제기되므로 배터리의 보편적인 지침이 필요함을 제안하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이장연, 정병호, 조급배, 백형래, 정해덕, "BESS를 적용한 계통연계형 PV시스템의 운전특성에 관한 연구," 한국태양에너지학회 논문지, 26권, 2호, pp.69-77, 2006
- [2] 김승국, "한반도 지역의 신재생에너지에 대한 비교·분석," 목포대학교, 석사학위논문
- [3] G. B. Shrestha, "A study on optimal sizing of stand-alone photovoltaic stations," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 13, No. 4, December 1998, pp. 373-378.
- [4] 에너지관리공단, <http://www.kemco.or.kr>
- [5] 문희성, 최규영, 이병국, "일사량 및 실부하 패턴을 고려한 태양광 시스템 운전기법," 대한전기학회, pp.69-77, 2008. 10.
- [6] 강신영, "소규모 독립형 태양광 발전 시스템 설계 및 시뮬레이터 개발," 전남대학교, 박사학위논문