

안정적인 태양광발전시스템의 설계를 위한 태양전지와 배터리 용량산정 방안

이우희^{1*}, 이미영², 이준하^{1,2}, 이흥주^{1,2}

Calculation of capacity of solar cell and battery for stable solar system design

Woo-Hee Lee^{1*}, Mi-Young Lee², Jun-Ha Lee^{1,2} and Hoong-Joo Lee^{1,2}

요 약 소규모 독립형 태양광발전시스템의 안정적인 설계를 위해서는 태양전지와 배터리 용량이 매우 중요한 요소이다. 태양전지 및 배터리의 용량산정이 잘못되면 시스템의 동작이 불안정해지고 잦은 고장의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 안정적인 태양광발전시스템의 설계를 위해 부하특성을 고려한 태양전지와 배터리 용량산정 방안을 제시하였다.

Abstract Solar cell and battery capacity are very important for stable design of stand-alone solar photovoltaic power generation system. If capacity computation of solar cell and battery is a wrong, operation of the solar system becomes unstable and results in breakdown. Therefore, in this paper, a solar cell and battery capacity calculation method considering the load characteristics has been proposed for the stable operation of the solar photovoltaic power generation system.

Key Words : 태양광발전, 배터리용량, 태양전지용량, photovoltaic, solar cell, battery

1. 서 론

태양에너지는 지표면기준으로 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 로 저밀도이고 태양전지의 광전변환효율 역시 상용제품의 경우 14% 정도로 낮기 때문에 실제로 넓은 면적의 태양전지가 필요하여 초기 시설 투자비가 많이 필요하다. 따라서 기존의 전기 설비에 비해 발전 단가가 높기 때문에 경제성을 갖추기 위해서는 태양전지에 대한 효율증대와, 모듈원가절감, 태양 추적 장치 및 전력 변환기술등 관련 분야 기술에 대한 많은 연구가 필요하다. 특히 국내의 시스템 및 요소기술 수준은 거의 세계적인 수준에 근접하고 있으나 실용화 및 상용화 기술이 부족한 것으로 평가되고 있다. 따라서 태양광발전 설비의 보급을 위해서는 생산 기술 및 실용화 기술에 대한 연구가 필요하다.[1][2]

태양광발전은 상용전력과 연계한 계통 연계형과 태양광단독으로 사용되는 독립형으로 구분된다. 소규모 독립

형 태양광 발전시스템은 최근 대체에너지에 대한 관심이 증가되면서 다양한 형태의 응용제품이 만들어지고 있다. 그러나 설계방법이 체계화되지 않아 태양전지 및 배터리가 필요이상으로 크게 설계되거나 반대로 너무 작게 설계되어 동작이 불안정해지고 잦은 고장의 원인이 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 소규모 독립형 태양광발전시스템의 설계를 위해 태양전지 및 배터리의 용량산정 방법과, 부하특성을 고려하여 안정적인 시스템을 설계하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 독립형 태양광발전시스템 용량산정

독립형 태양광발전시스템의 설계에 있어서 기존방식은 요구되는 부하량과 사용시간이 결정되면, 일일부하량에 대해 보조일수를 통상 3~4일로 계산하여 태양전지와 배터리 용량을 결정지었다. 시스템 설치 초기에는 열화에 의한 태양전지의 효율저하나 배터리의 충방전 수명에 의한 영향이 거의 없기 때문에 시스템이 정상적으로 동작

¹상명대학교 컴퓨터시스템공학과

²상명대학교 정보디스플레이연구소

*교신저자 : 이우희(whlee@smu.ac.kr)

되는 것처럼 보인다. 그러나 국내 기후특성상 여름철에는 장마로 인해 부조일수가 늘어나고 겨울철에는 태양고도가 낮아짐에 따라 일조시간과 일사량이 감소되므로 전체 태양광발전량은 현저히 저하되게 된다. 이는 부족한 발전량을 충당하기 위해 배터리를 방전심도이상으로 방전하게 되고 심한경우에 요구부하전력을 공급하지 못하게 되는 경우도 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 실제적인 환경변수를 고려한 체계적인 설계절차를 제안하였다. 그림1은 안정적인 태양광 발전시스템의 설계절차에 대한 기존방식과 제안한 방식을 비교한 그림이다.

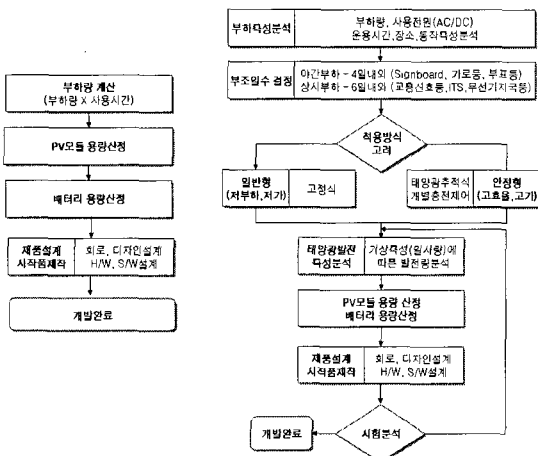


그림 6. 안정적인 태양광발전시스템 설계절차 비교 (좌)기존 방식 (우)제안한 방식

안정적인 태양광 발전시스템 설계에 있어서 가장 먼저 해야 할 일은 부하 특성 분석이다. 부하의 크기 및 운영 조건에 따라 태양전지 및 배터리 용량이 결정되기 때문에 시스템 설계에 기본이 된다. 또한 응용제품에 사용되는 부하의 종류, 크기, 사용시간 및 동작특성을 분석하고 시스템의 동작특성과 사용자가 원하는 시스템의 안정성을 고려하여 부조일수를 정해야한다. 부조일수는 가로등과 같은 야간부하의 경우에는 4일, 교통신호등이나 무선 기지국의 전원용도로 24시간 연속 사용되는 부하인 경우에는 시스템의 안정성을 보다 고려하여 6일 내외로 하는 것이 바람직하다. 대체로 부하가 크고 고가이며 안정적인 동작을 요하는 통신장비전원이나 등대와 같은 제품은 효율을 고려하여 태양 추적 장치나 개별모듈 층·방전 제어방식을 적용하여 원가를 절감하고 안정성을 높이는 것이 좋다. 그리고 부하가 작고 저가인 펌프시설과 같은 곳에는 일반적인 PV 모듈을 고정식으로 하고 배터리제어도 단순한 방법을 사용하는 것이 유리하다. [3][4]

다음으로는 시스템의 설치조건을 고려하여 설치장소

의 태양일사량특성과 발전 특성 등을 모의 실험하여 적용방식의 적합성을 파악하고 용량산정에 필요한 데이터를 수집한다. PV모듈 및 배터리 용량은 소규모 태양광발전 시스템의 안정성뿐만 아니라 시스템의 원가를 결정짓는 주요한 요인이다. 따라서 시스템의 특성과 적용방식 및 발전특성을 고려하여 용량을 산정하게 된다.

적용방식과 산정용량이 결정되면, 다음으로 시스템의 회로설계, 디자인 및 기구물 등의 H/W를 설계하고 고효율특성이 요구될 때는 추가적인 구조물과 태양추적방식 및 배터리 개별 충전방식 등의 S/W부분을 설계하여 시제품을 만들고 시험하여 개발을 완료한다.

2.1 시스템 부하 특성 분석

소규모 독립형 태양광발전시스템에서 부하로 DC를 사용하는 경우는 발전전력을 그대로 승·강압하여 사용할 수 있어 제어기 구조가 간단해지기 때문에 부하가 작고 시스템이 간단한 경우에 주로 적용한다. 또한 일반적인 AC부하를 사용하기 위해서는 DC-AC 변환장치가 필요하고 일반 가정이나 공장 등에서 사용하는 장치를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있어 유리하다. 그러나 제어가 복잡해지기 때문에 부하가 비교적 크고 고가인 경우에 주로 적용된다.

독립형 태양광 발전 시스템의 부하는 사용시간과 동작 특성에 따라 구분할 수 있다. 무선 기지국과 같은 24시간을 연속 사용하는 상시부하, 등대나 signboard와 같이 야간에만 사용되는 야간부하, 그리고 순시 적으로 짧은 시간 사용되는 단속부하가 있다. 상시부하는 24시간 연속적으로 동작하므로 부하가 크고 시스템의 안정성이 중요하다. 가로등이나 signboard와 같은 야간부하는 주간에 발전 및 충전된 전력을 야간에 방전 및 소비되는 반복적인 패턴을 갖는다. 단속부하는 짧은 시간 동안 동작하는 특성이 있고, 태양이 있는 동안에만 동작하는 경우는 배터리 용량이 매우적지나, 불필요하기 때문에 시스템이 간단해진다. 그림2는 독립형 태양광발전에서 사용되는 부하 특성을 나타낸 것이다.

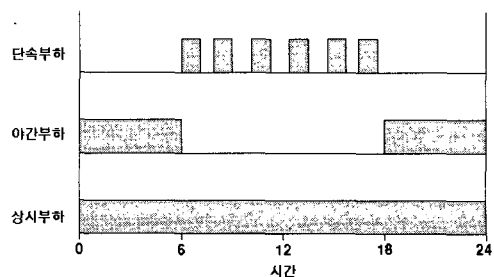


그림 7. 독립형 태양광 발전시스템의 부하특성

독립형 태양광 발전시스템의 특성상 기상의 변화에 따라 발전량의 차이가 발생하고, 여름철 장마나 겨울철 폭설과 같이 수일동안 발전이 불가능한 경우에 시스템은 정상적으로 동작할 수 있어야 한다. 따라서 시스템의 안정적인 동작을 위해 부조일수를 고려해야한다. 부조일수는 태양광발전 없이 정상 동작이 가능한 일수를 말한다. 부조일수는 부하 특성과 관련이 있다. 국내 기상특성을 고려하여 부조일수는 보통 4일 이상으로 설정하게 된다. 부조일수를 낮게 설정할 경우 PV모듈 및 배터리 용량 부족으로 동작불량이나 고장의 원인이 될 수 있고 6일 이상 크게 할 경우에는 원가 상승 원인이 된다. 그러나 상시부하의 경우에는 시스템의 안정성을 우선으로 하므로 부조일수를 6일 이상으로 설정하는 것이 바람직하다.

2.2.1 PV모듈 용량산정

태양광 발전시스템은 PV모듈 및 배터리의 가격이 차지하는 비중이 상대적으로 높기 때문에 시스템의 설계에 있어서 PV모듈 및 배터리의 용량산정은 시스템의 안정성 및 원가를 결정하는 중요한 요인이 된다. 기존에는 PV모듈 및 배터리 용량산정을 대부분 경험적으로 결정하여 부적절한 용량산정이 원가상승이나 시스템 고장의 원인이 되는 경우도 있었다.

독립형 태양광 발전 시스템의 PV모듈 용량산정을 위해 계통 연계형에서 사용되는 용량 산정식에 독립형의 특성을 고려하여 식을 유도하였다.[5] 독립형 태양광 발전 시스템의 PV모듈용량은 PV모듈에서 발생하는 전력량은 부하량과 여유전력량을 더한 값이 되도록 결정하여야 한다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} \times K = E_L \times D \times R \quad (1)$$

(Q_A : 태양전지 경사면 일사강도, A : 태양전지 면적, η_{ps} : 태양전지 변환효율, K : 설계종합계수, E_L : 부하전력량, D : 부하의 태양광발전시스템 의존율, R : 설계 여유계수)

$$\eta_{ps} = \frac{P_{AS}}{H_S \times A} \quad (2)$$

(P_{AS} : 표준상태의 태양전지 출력, H_S : 표준상태 일사강도 ($1kW/m^2$))

$$P_{AS} = \frac{E_L \times D \times R}{Q_A / H_S \times K \times A} \quad (3)$$

식 1은 계통연계형에 사용되는 용량 산정식이며, 식 2는 PV모듈의 광전변환효율을 나타내는 식이다. 식 2를 1에 대입하여 정리하면, 식 3과 같이 된다. 독립형의 경우 태양광 발전 의존율 D 값이 1이고 태양전지 변환효율 η_{ps} 는 약 14%, 설계계수 K 는 부하가 일정하므로 1로 가정한다. 그리고 부하전력량은 부하용량과 사용시간의 곱으로 나타낸다. 이러한 독립형 태양광발전 시스템의 특성을 고려하여 PV모듈용량 산정식을 다시 정리하면 식 4와 같다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} = E_L \times R \quad (4)$$

식 4에서 독립형의 경우 경사면 일사량이 계절에 따라 변하므로 연중 평균 발전효율을 고려하여 태양전지 용량을 계산하면 식 5와 같다. 다시 식 4와 5를 정리하여 식 6과 같이 독립형에서의 태양전지 용량을 산정할 수 있다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} = S_w \times A_f \quad (5)$$

(S_w : 태양전지 용량, A_f : 연중 평균 발전율)

$$S_w = \frac{R \times E_L}{A_f} \quad (6)$$

식 6은 태양전지 용량을 연중 평균치로 계산하였으나, 실제로 태양광발전 변화를 보면 겨울철 발전량이 가장 낮다. 따라서 겨울철에 정상적인 전원공급을 위해서 발전효율을 연중 평균치에 겨울철 변동량을 감안하여 계산하면 식 7과 같다.

$$S_w = \frac{R \times L_w}{A_f \times W_{af}} \quad (7)$$

(W_{af} : 겨울철 효율 변동률)

그러나 겨울철 효율 변동률을 감안하여 태양전지 용량을 증가시킬 경우 시스템대비 cost증가율이 매우 커진다. 겨울철일사량은 연중평균치의 약 50%수준임을 감안할 때, 이는 태양전지의 용량증가보다는 배터리의 예비용량 증가로 해결하는 것이 바람직하다.[6]

앞서 제시한 태양전지용량 산정식을 바탕으로 case별 study한 경우 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다. L사의 경우에는 2장정도의 태양전지를 줄여 원가를 절감할 수 있고, S사의 경우에는 태양전지의 용량이 부족하여 실제로 점등불량이나 고장이 잦은 것으로 알려져 있다.

표 1. 태양광가로등의 PV모듈 용량산정 예

태양광 가로등	50W 태양전지 사용시		평가
	적정개수	실제개수	
50W	5장-250W	5장	적정용량산정
45W	4장-200W	6장	과다용량(L사)
35W	3장-150W	2장	부족용량(S사)

2.2.2 배터리 용량산정

독립형 태양광 발전시스템의 배터리 용량산정에서 가장 중요한 요소는 부하량과 부조일수이다. 국내 기상조건은 장마철의 경우에도 3일 이상 발전이 불가능한 경우는 거의 없기 때문에 일반적으로 부조일수를 4일로 계산하여 용량을 산정하는 것이 바람직하다. 또한 배터리를 100%방전할 경우 배터리의 손상이 발생하여 수명이 짧아지고 고장이 원인이 되므로 방전 시에는 보통 60~70% 정도의 방전심도를 갖도록 설계하여야 한다. 배터리 용량산정은 부조일수와 배터리 효율, 1일 소비전류량, 방전심도의 곱인 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_w \times \eta_b \times B_{DoD} = N_d \times L_a \quad (8)$$

(N_d : 부조일수(4일), η_b : 배터리 효율, L_a : 일일 사용 전류량, B_{DoD} : 배터리 방전심도(0.6~0.7))

일일 사용 전류량은 점등 용량과 사용시간을 감안하여 전압과 효율로 나눈 값으로 식 9와 같다.

$$L_a = \frac{L_w \times H_a}{V_b \times \eta_i} \quad (9)$$

(H_a : 평균사용시간, V_b : 배터리 전압(12V), η_i : 시스템효율, L_w : 부하량)

식 9를 식8에 대입하여 정리하면 식 10과 같이 배터리 용량을 산정할 수 있다.

$$B_w = \frac{N_d \times L_w \times H_a}{V_b \times \eta_i \times \eta_b \times B_{DoD}} \quad (10)$$

그러나 보다 안정적인 시스템을 위해서는 앞서 2.2.1 절에서 언급한 예비용량 B_a 가 추가되어야 한다.

따라서 배터리 용량 산정식은 식 12와 같이 수정할 수 있다.

$$B_a = S_w \times T_s \quad (11)$$

(B_a : 예비배터리용량, S_w : 태양전지 용량, T_s : 겨울철 발전가능시간(4시간))

$$B_w = B_w + B_a \quad (12)$$

위에 제시한 배터리 용량 산정식을 바탕으로 태양광 가로등과 교통신호용 태양광전원장치에 적용하였을 경우 표 2에 나타내었다. 태양광 가로등은 50W급으로 1일에 10시간점등, 부조일수를 4일로 설계하면, 약 330Ah가 된다. 또한 예비 배터리 용량은 태양전지용량 250W에 일조시간 4시간이라고 가정하면 예비 용량은 160Ah가 된다. 실제 가로등은 2개의 배터리를 병렬로 연결하므로, 165Ah에 가장 근접한 배터리를 선정하여야한다. 따라서 태양광가로등의 총 배터리 수는 기존 배터리2개와 예비 배터리1개를 포함 총 3개의 배터리로 구성할 수가 있다. 교통신호용 전원장치는 24시간 계속해서 사용하는 연속 부하의 형태이고, 사용부하가 10W, 부조일수를 6일로 설계하면, 필요한 배터리는 기존 132Ah에 예비 80Ah가 된다. 이 경우에는 80Ah 3개를 병렬로 구성할 수가 있다.

표 2. 태양광 응용 시스템의 배터리 용량 산정 예

구분	사용부하	부조일수	배터리용량	예비용량
태양광 가로등	50W (10시간)	4일	330Ah ≈ 150Ah×2개	160Ah
교통신호용 전원장치	10W (24시간)	6일	132Ah ≈ 80Ah×2개 ≈ 150Ah×1개	80Ah

3. 결론

본 논문에서는 안정적인 태양광발전시스템설계를 위해 태양전지 및 배터리용량산정 방안을 제시하였다. 먼저 시스템설계방식에 대한 고찰을 토대로 보다 체계적인 설계흐름도 제안하고, 태양광 발전시스템에서 요구되는 부하특성을 분석하였다. 또한 태양전지 용량산정과정에 겨울철 일사량감소에 따른 태양전지용량 증가분을 기존 배터리용량에 예비배터리를 추가하는 방법을 제시하였다. 제시된 결과는 소규모 독립형 태양광발전시스템을 구성하는데 있어서 유용한 자료가 될 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Roger A. Messenger Jerry Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering", Second Edition, CRC PRESS, pp.203-259, 2003.
 [2] 이미영, "LED부하용 태양광발전시스템의 매칭특성에 관한 연구", 상명대학교 정보디스플레이 연구소논문집, pp.21-30, 2004.
 [3] 강신영, 이양계, 김광현, "бат데리 개별 제어 방식에 의한 소규모 독립형 태양광 발전 시스템의 특성 개선", 전력전자학회논문지, 1229-2214, 제7권5호, pp.482-489, 2002

[4] 김홍성, 유권중, 송진수, 이병구, 정영석, 강기환, 최규하, "충방전 제어기기를 이용한 독립형 태양광 발전시스템의 설계", 전력전자학회논문지 pp. 103-108, July 1998.
 [5] 김홍근 외 3명, 산업자원부 전력산업연구개발사업 "계통연계형 태양광발전 시스템의 인버터 최적설계 및 실증연구" 최종보고서 p.70, 2004.
 [6] 윤천석, "대체에너지", 인터비전, pp.385-386, 2004.

이 우 희(Woo-Hee Lee)

[학생회원]



- 2004년 8월 : 상명대학교 컴퓨터 시스템공학과 (공학사)
- 2004년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터정보통신공학과 (석사과정)

<관심분야>
ASIC설계, 임베디드시스템, 대체에너지

이 준 하(Jun-Ha Lee)

[정회원]



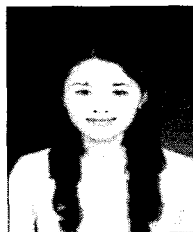
- 1990년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학박사)
- 1996 ~ 2003년 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원

- 2003년 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터시스템공학과 조교수

<관심분야>
반도체, CAD tools, 나노 테크놀로지

이 미 영(Mi-Young Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 상명대학교 컴퓨터 시스템공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 상명대학교 컴퓨터 정보통신공학과 (공학석사)
- 2004년 2월~현재 : 상명대학교 정보디스플레이연구소 연구원

<관심분야>
반도체, CAD tools, 대체에너지

이 흥 주(Hoong-Ju Lee)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 미국뉴욕주립대(버팔로)전기공학과(공학박사)
- 1995 ~ 1999년 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원

- 2000 ~ 2002년 : (주)포톤반도체에너지 이사 및 기술고문
- 2001년 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터시스템공학과 부교수

<관심분야>
반도체, 나노 테크놀로지, 대체에너지