

# 독립형 태양광 발전 시스템의 무정전 전력공급을 위한 시스템 용량 최적 선정에 관한 연구

김기영, 최우진  
 송실대학교, 전기공학부

## A Research on the Optimal System Sizing of the Standalone Photovoltaic Power Generation System for Uninterruptible Power Supply

Ki-Young Kim and Woojin Choi

Department of Electrical Engineering, Soongsil University

### ABSTRACT

본 논문에서는 독립형 태양광 시스템의 설계에서 배터리 용량 선정 방식에 관련하여 부하손실확률(LLP: Loss of Load Probability)이 0 인 기준을 토대로 시스템 무정전 전력공급을 위한 시행 착오법을 제안하였으며 시스템의 수명주기비용(LCC: Life Cycle Cost)을 분석하여 기존 시스템에 비해 경제성을 높이고자 한다. 제안한 방식의 검증에 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

*Index Terms* – Stand-alone PV System, Optimal Sizing, PV Module, Battery system

### 1. 서 론

기존의 독립형 태양광 시스템의 경우 태양전지모듈의 크기를 선정하기 위해 연평균 일사량을 일사량 정보( $G_{in}$ )로 이용하고 있으며 배터리의 경우 부조일수 4 일을 기준으로 용량을 선정하고 있지만 일반적으로 채택한 부조일수와 실제 기상 패턴이 일치하지 않음에 따라 경제성이 떨어지는 배터리의 과대 설계 또는 안정적인 전력공급이 되지 않아 정전이 발생하는 배터리 부족 설계의 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 시스템의 무정전 전력공급을 위하여 일사량 정보( $G_{in}$ )에 연평균, 최대 및 최소 월평균 일사량을 이용하여 태양전지모듈의 크기와 시행 착오법을 통한 배터리 최소 용량을 선정하여 시스템을 최적화할 수 있는 방식을 제안한다. 그리고 모듈 크기와 배터리 용량의 관계를 통해 수명주기비용(LCC: Life Cycle Cost)을 분석하고 Labview 를 이용하여 시뮬레이션으로 제안하는 방식의 타당성을 검증하였다.

### 2. 제안하는 시행 착오법을 통한 배터리 선정

#### 2.1 부하의 소비전력량 분석

독립형 태양광 발전 시스템을 설계하기 위해 가장 먼저 요구되는 절차는 부하의 소비전력량의 패턴을 분석하는 것이다.

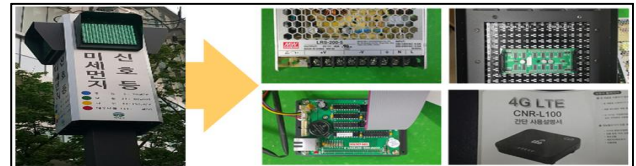


그림 1. 미세먼지신호등의 소비전력량 분석

Fig. 1 Analysis of Power Consumption of the load

본 부하는 RGB LED (90.2[W]), 컴퓨터(40[W]), 무선 라우터(8.4[W]), SMPS 로 구성되어 있으며 소비전력은 138.6 [W]로 계산된다. 그리고 오전 6 시부터 오후 7 시 즉, 하루 14 시간 동안 구동되기 때문에 부하의 하루 소비전력량 ( $E_L$ )은 1940.4[Wh]가 된다.

#### 2.2 태양전지모듈 선정

식 1 에서는 부하의 하루 소비전력량과 온도계수(TCF; Temperature Correction Factor), 태양전지모듈과 배터리 효율 및 일사량 정보( $G_{in}$ )를 통해 모듈의 크기를 계산할 수 있다.

$$PV \text{ area} = \frac{E_L}{G_{in} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_B \times \eta_{con}} [m^2]$$

식 1 태양전지모듈의 크기 선정식

Eq. 1 The Equation about the size of PV modules

이때 일사량 정보( $G_{in}$ )의 경우 첫 단계에서는 일반적으로 연평균 일사량 값으로 설정하여 모듈의 크기를 계산한다.

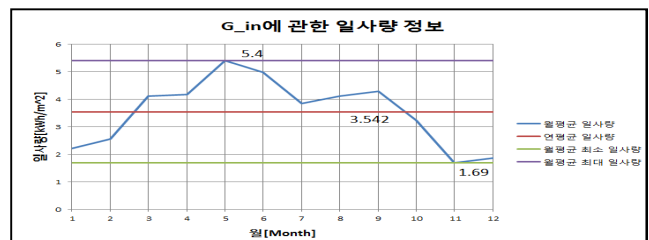


그림 2. 일사량 정보 선정을 위한 2012 년도 일사 그래프

Fig. 2 Irradiation graph in 2012 for insolation information

위 그림 2 은 2012 년도 각 월별 평균 일사량과 연평균 일사량, 월평균 일사량의 최대값 및 최소값을 나타낸 것이다. 일사량 정보( $G_{in}$ )를 선택할 때 5 월의 월평균 최대 일사량을 설정한다면 연평균 일사량에 비해 수용되는 일사량이 많기 때문에 부하가 소비하는 전력량을 만족시키기 위한 태양 전지모듈의 크기는 작아진다. 하지만 1 년동안 시스템이 구동될 때 5 월을 제외한 나머지 기간에 대해서는 모듈에서

발전하는 전력이 부하가 소비하는 전력보다 적어 배터리가 필수적으로 필요하며 안정적인 전력공급을 위해서는 배터리의 용량 및 개수가 증가하게 되는 단점을 보인다.

반대로 11 월과 같이 최소 월평균 일사량을 이용할 때는 연평균 일사량에 비해 적기 때문에 모듈의 크기가 커지게 되나 구동하는 기간 동안 부하에 무정전 전력공급을 할 수 있기 때문에 배터리 의존도가 낮아 경제적인 장점이 있다.

### 2.3 배터리 용량 선정

아래 식 2 는 기존의 독립형 태양광 발전 시스템에서 배터리 용량을 선정하는 방식이다.

$$Battery\ capacity = \frac{N_C \times E_L}{DOD \times \eta_B \times \eta_{con} \times N_v} [Ah]$$

식 2. 부조일수를 통한 기존 배터리 용량을 선정식

Eq. 2 Previous Equation of battery capacity though number of sunless days

이 때 부조일수를 4 일, DOD(Depth of discharge)를 0.8, 납축전지의 충/방전 효율( $\eta_B$ ) 98[%], controller 의 효율( $\eta_{con}$ ) 97[%] 그리고 시스템 정격전압 ( $N_v$ ) 이 24[V] 일 때 기존 방식을 통한 배터리 용량은 425.25[Ah]로 계산된다.

하지만 실제 부조일수에 비해서 배터리의 과잉설계 또는 부족설계의 문제가 발생할 수 있으며 부하에 무정전 전력공급을 위해서는 시스템을 구동하는 기간 동안 정전되는 날이 0 일을 만족할 수 있는 배터리 용량을 선정하여야 한다. 따라서 부하손실확률(LLP: Loss of Load Probability) 이 0 인 기준으로 최소의 배터리 용량을 찾아야 한다.

$$LLP = \frac{Tf}{T} [hours]$$

식 3. 부하손실확률(LLP: Loss of Load Probability) 산출식

Eq. 3 The Equation of Loss of Load Probability

여기서  $Tf$  는 정전시간을,  $T$  는 시스템이 구동하는 동안의 시간을 나타내며 LLP=0 일 때를 기준으로 시행 착오법을 이용하여 배터리 최소 용량인 653[Ah]를 선정하였다.

### 3. 기존 시스템과의 수명주기비용 및 부하손실확률 비교

식 3 의 수명주기비용(LCC: Life Cycle Cost)은 전체 시스템의 수명 동안 책정되는 가격을 뜻하며, 태양전지 모듈의 가격 ( $C_{PV}$ ) 과 그 가격 ( $C_{PV}$ ) 의 10%로 책정한 모듈설치 비용 ( $C_{ins}$ ), 시스템 유지보수비용 ( $C_{MPW}$ ), 배터리 ( $C_B$ ) 및 Controller 의 비용( $C_C$ ), 그리고 미래의 가치를 현재의 가치로 환산하는 예비 배터리의 비용( $C_{BnPW}$ )으로 구성 되어 있다.

$$LCC = C_{PV} + C_B + C_{B1PW} + C_{B2PW} + C_{B3PW} + C_C + C_{ins} + C_{MPW}$$

식 3. 수명주기비용(LCC: Life Cycle Cost) 산출식

Eq. 3 The Equation of Life Cycle Cost

미세먼지 신호등에 대하여 독립형 태양광 시스템을 구성에 따른 LCC 를 계산할 때 모듈의 경우 LG315N1W 로서 1[W] 당 1,060 원이며 배터리는 150 및 200[Ah] 기준으로 각각

308,000 원과 330,000 원이고, controller 는 Tracer-3215RN 과 Tracer-4210RN 로서 각각 242,000 원과 275,000 원으로 책정된 것을 적용하였다.

태양전지모듈		배터리 용량	배터리 총 개수	LLP	$C_{PV}$	$C_B$	$C_{B1PW}$	$C_{B2PW}$	$C_{B3PW}$	$C_C$	$C_{ins}$	$C_{MPW}$	총 LCC
모듈 2개	기존 방식 315[W] 2개	10,800[Wh] (150[Ah] 기준)	6개	LLP=0.18 (정전일수 33일)	667,800	1,848,000	668,304	357,059	257,083	242,000	66,780	143,714	4,271,740
	시행 착오법	33,600[Wh] (200[Ah] 기준)	14개	LLP=0 (정전일수 0일)									4,620,000
모듈 3개	기존 방식 315[W] 3개	10,800[Wh] (150[Ah] 기준)	6개	LLP=0.02 (정전일수 3.75일)	1,001,700	1,848,000	668,304	357,059	257,083	275,000	100,170	215,571	4,743,887
	시행 착오법	14,400[Wh] (200[Ah] 기준)	6개	LLP=0 (정전일수 0일)									1,880,000

표 1.5 년간(2012~2016 년) 일사 정보를 통한 시스템 구성 Table 1 Configuration of whole system through insolation during a 5 years (2012~2016)

위 표는 연평균 및 월 최소 일사량을 통한 모듈의 개수와 시행 착오법을 이용한 배터리 최소 용량 선정 방식과 기존의 방식을 이용하여 시스템의 수명주기비용을 비교한 것이다. 그 중 모듈을 3 개의 경우를 살펴볼 때 기존의 방식 경우 5 년 동안의 정전일수가 3.75 일이며, 전체시스템의 수명인 20 년 동안 시스템을 구동할 경우 15일로 확인할 수 있다.

### 4. 시뮬레이션 결과

제안한 방식의 신뢰성과 유용함을 검증하기 위해 그림 3 과 같이 해당 기간 동안 배터리의 SOC 가 설정한 DOD 이하로 떨어지지 않고 부하로 안정적인 전력을 공급하는 상태에 대한 시뮬레이션 결과 화면이다.

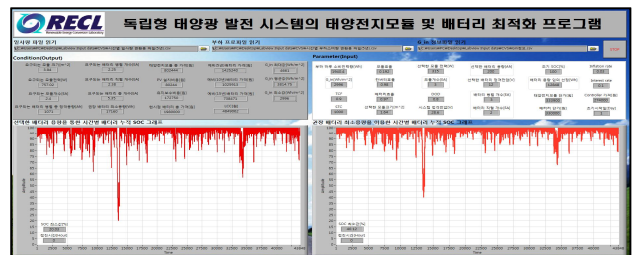


그림 3. Labview 를 통한 시뮬레이션 Fig. 3 The simulation results using Labview software

### 5. 결론

배터리 용량에 대한 기존 시스템의 과대 및 부족 설계 문제를 해소하기 위해 시행 착오법을 이용한 시스템의 최적화를 실시하였고 Labview Simulation 을 통해 확인하였다. 기존에 전력공급 면에서 15 일의 정전이 발생하는 것에 비해 제안한 방식은 무정전 전력 공급이 가능한 이점이 있으므로 안정성 및 신뢰성이 있다고 판단된다.

### Reference

[1] Khaled Bataineh and Doiraid Dalalah, "Optimal Configuration for Design of Stand-Alone PV System", *Smart Grid and Renewable Energy*, 2012, 3, pp. 139-147  
 [2] 조덕기, "방위별 경사면일사량 분석에 관한 연구", *한국 태양에너지학회 논문집*, 2001.9