

## Battery와 Electrolyzer를 이용한 태양광 발전 시스템 운영

강기혁, 김윤성, 원동준  
인하대학교 전기공학과

### The management of Photovoltaic Generator system with Battery and Electrolyzer

Gi-Hyeok Gang, Yun-Seong Kim, Dong-Jun Won  
School of Electrical Engineering, INHA University

**Abstract** - 현재는 화석연료에서 신재생에너지로 에너지 패러다임이 변화하고 있는 시점이며, 신재생에너지를 보다 효율적으로 운영하여 효율성을 높이기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 전기 에너지는 생산과 동시에 소비해야 한다는 특성을 가지고 있으며, 그 중 태양광 발전과 같은 신재생에너지원은 기후요인에 의해 출력이 결정되기 때문에 수요전력보다 공급전력이 많아 잉여전력이 생기거나 공급전력보다 수요전력이 많아 부족전력이 발생하여 전력품질을 악화시킬 수 있다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 태양광 발전의 단점을 보완하기 위해서는 잉여전력이 발생한 경우는 Battery와 Electrolyzer를 이용하여 에너지를 저장하고 부족전력이 발생한 경우는 Battery를 이용하여 보상하는 방법을 제안하였다.

$V_{out}$  : 태양전지 출력전압  
 $B$  : PN 접합 재료 계수  
 $k$  : 볼츠만 상수( $1.38 \times 10^{-23}$ )  
 $T$  : 절대온도(기준 300K)  
 $q$  : 전하량( $1.6022 \times 10^{-19}$ )  
 $I_{sc}$  : 일사량에 따른 단락전류  
 $I_{max}$  : 일사량이  $1kW/m^2$ 일 때 단락전류  
 $V_{oc}$  : 일사량이  $1kW/m^2$ 일 때 개방전압  
 $K$  : 계수(다이오드 순방향 전압  $V_D$ )

#### 1. 서 론

현재 사용되는 1차 에너지원의 거의 대부분을 차지하는 화석연료는 다량의 환경오염 물질을 배출하고 연젠가는 고갈될 수밖에 없는 유한한 자원이기 때문에 화석연료를 대체할 에너지원으로 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 신재생에너지는 오염물질이 배출이 되지 않는 친환경·무한 에너지원이기 때문에 화석연료가 일으키는 문제를 해결 할 수 있다.

신재생에너지 중 태양광발전은 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 기술로 변환과정에서 풍력의 기계적, 연료전지의 화학적 작용이 없으므로 타발전에 비해 시스템 구조가 단순하고 유지 보수가 쉬우며 수명이 길어 널리 각광을 받고 있다. 그러나 태양광발전의 출력이 일사량에 종속되어 있기 때문에, 일사량의 변화는 태양광의 출력 변화를 일으킴으로 안정적인 전력공급을 어렵게 한다. 태양광이 가지고 있는 출력변동 문제는, 에너지 저장 및 소비가 가능한 Battery와 Electrolyzer를 태양광 발전 시스템에 추가하여 해결할 수 있으며, 낮에 생기는 잉여전력을 Battery와 Electrolyzer를 이용하여 에너지를 저장하고, 부족한 전력은 Battery에서 보상을 받을 수 있다. 또한 추가적으로 Electrolyzer에서 얻은 수소를 이용하여 연료전지를 동작시켜 2차적인 전력을 보충할 수 있게 된다.

본 논문은 Battery와 Electrolyzer를 이용하여 태양광 발전시스템의 출력변동을 해결하는 태양광 발전 시스템의 운영방안에 대해 제안하며, PSCAD/EMTDC를 기반으로 태양광 발전, Battery, Electrolyzer, DC/AC 인버터, DC/DC 컨버터를 모델링하여, 단일 태양광 발전 시스템을 구축하였으며, 제안한 제어 운영 방법에 따른 출력 특성을 분석하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 태양광발전 시스템 구성

###### 2.1.1 태양광 발전

태양광 발전은 태양전지나 태양전지 모듈이 DC-DC 부스터 컨버터를 통해 승압 된 후, DC/AC 인버터를 통해 AC로 변환되어 AC 버스에 연결된다. 태양광 발전 모델링은 전류-전압, 전력-전압이 비선형 관계의 특성을 가지며, 식 (1)을 바탕으로 구현하였다[1]. 태양전지는 표면 온도와 일사량의 변화에 따라 출력점이 달라지므로, 태양광 발전 모델링에 최대출력추종제어(MPPT : Maximum Power Point Tracking)를 추가하였다. MPPT 제어는 외부조건에 따라 변하는 태양전지의 최대 출력지점을 추정하여 순시적 출력전력 감소를 보상하므로 Battery와 Electrolyzer를 연계한 시스템의 효율적 운영에 적합하다[1].

$$I_{out} = I_{sc} - \left[ \frac{I_{max}}{\exp\left(\frac{q}{BkT} \times K\right) - 1} \right] e^{\left(\frac{q}{BkT} \times \frac{V_{out}}{V_{oc}} \times K\right) - 1} \quad (1)$$

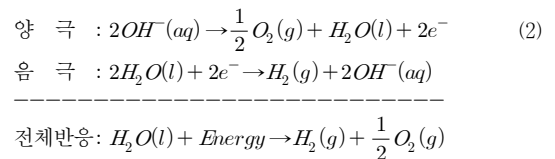
$I_{out}$  : 부하측에 흐르는 전류,

##### 2.1.2 Electrolyzer

Electrolyzer는 물의 구성요소인 수소와 산소를 분리하여 전기에너지를 화학에너지로 변환시키는 전기화학적 장치이며, 잉여 전력을 이용하여 수소를 생산하여 연료전지에 공급해주기 때문에, 과에너지 저장이 가능하여 에너지의 효율적 이용을 가능하게 한다.

현재 PEM Electrolyzer보다 Alkaline Electrolyzer이 가격이 낮고 더 많이 이용되므로 본 논문은 Alkaline Electrolyzer를 모델링하였다.

Alkaline Electrolyzer는 식(2)처럼 화학반응이 일어난다[2].



Electrolyzer에서 일어나는 화학반응을 전기적인 특성으로 식(3)처럼 나타낼 수 있다[2].

$$U = U_{rev} + \frac{r_1 + r_2 T}{A} I + \text{slog}\left(\frac{t_1 + t_2/T + t_3/T^2}{A} I + 1\right) \quad (3)$$

$U$  : 전압,  $r_1, r_2$  : 음저항,  $A$  : 면적,  $I$  : 전류,  $T$  : 온도

화학반응에서 발생하는 온도는 화학반응속도에 영향을 미치므로 온도에 대해 정의를 해주면 더욱 정확한 모델링을 할 수 있다[2].

$$T(t) = (T_{ini} - \frac{b}{a}) \exp(-at) + \frac{b}{a} \quad (4)$$

$T$ : 온도,  $T_{ini}$ : 처음온도,  $a, b$ : Thermal 계수

이런 전기적인 특성을 가지고 Electrolyzer는 수소를 생산한다.

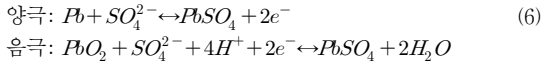
$$N_{H_2} = \eta_F \frac{n_c I}{2F} \quad (5)$$

$N_{H_2}$ : 생산된 수소몰유속,  $\eta_F$ : Faraday's law,  $n_c$ : 직렬연결된 셀개수

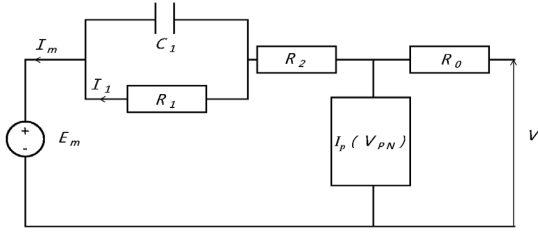
##### 2.1.3 Battery

Battery는 전기에너지를 화학에너지로 변환시키고 다시 전기에너지로 재변환할 수 있는 장치이다. 잉여 전력을 저장할 수 있고, 전력이 부족할 때 전력을 빠르게 공급할 수 있다. 이런 장점으로 Battery는 수요전력에 맞게 출력을 제어할 수 없는 신재생에너지가 도입된 전력시스템에서 출력 보상을 위한 역할을 한다.

Battery의 두 극에서는 다음과 같은 화학반응이 일어난다[3].



위의 화학반응을 Battery의 등가 모델로 전류, 전압, 저항, 커패시터로 나타낼 수 있다[3].



〈그림 1〉 Battery 등가 회로

C는 전류와 온도에 대한 함수로 나타낼 수 있다[3].

$$C(I, T) = \frac{K_c C_0 \left(1 + \frac{T}{-T_f}\right)^\epsilon}{1 + (K_c - 1)(I/I_f)^\delta} \quad (7)$$

Battery가 충·방전 능력은 SOC(state-of-charge)로 나타낼 수 있다. 식(7)에서, SOC는 최대 커패시터에 대해 Battery가 어느 정도 충전되었는지 나타내는 지수이다.

$$SOC = 1 - Q_e / C \quad (8)$$

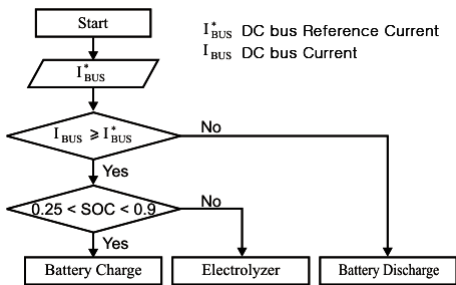
충전되는 전하량은 다음과 같이 정의한다.

$$Q_e = \int i_m dt \quad (9)$$

온도를 고려하면 매우 복잡해지기 때문에 battery의 온도는 25°C로 일정하다고 가정하였다.

## 2.2. 태양광 발전 시스템 운영

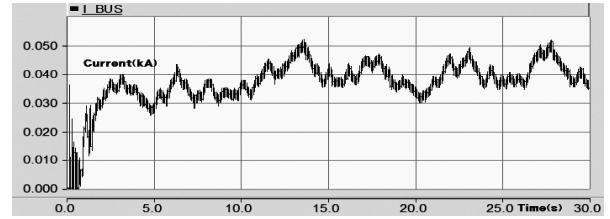
태양광발전 DC/AC 인버터, DC/DC 컨버터를 이용하여 전력계통에 연계되어 있다. Battery와 Electrolyzer는 DC/DC 컨버터를 이용하여 DC버스에 연결되어 있다. Electrolyzer의 에너지 효율은 70%이고 연료전지의 에너지 효율은 90%이므로 총에너지 효율은 63%이지만 Battery의 에너지 효율은 80%이다. 그리고 Battery는 전력이 부족할 때 바로 전력을 공급할 수 있다는 면에서 에너지를 많이 충전시켜 놓은 것은 전력품질 향상시킬 수 있기 때문에 Electrolyzer보다는 Battery를 많이 이용하는 것이 효율적이다. 태양광 발전 시스템에서는 잉여전력이 생기는 경우 먼저 Battery를 충전시키고 Electrolyzer를 운행한다. 그러나 Battery는 기기 안정성에 문제로 SOC가 0.25~0.9사이에 있을 때가 안전하므로 이 범위에서만 작동하게 한다. 전력이 부족할 때에는 Battery를 방전하게 하여 부족 전력을 보상하게 한다. Electrolyzer로 생산한 수소를 가지고 연료전지를 운행함으로써 전력을 생산할 수 있다.



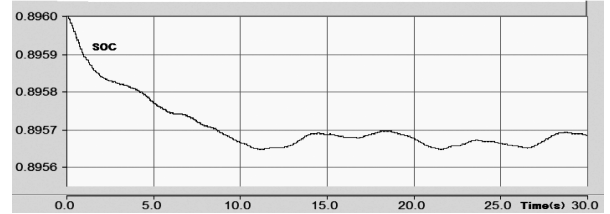
〈그림 2〉 태양광 발전 시스템 운영 알고리즘

## 2.3 태양광발전 시스템 시뮬레이션

50kW 태양광발전이 운행되면 DC-bus에서 <그림 3>과 같이 전류가 불규칙하게 발생한다. 수요전력을 나타내는 기준 DC-bus 전류값을 40A라고 가정하면 <그림 4>에서 보듯이 DC-bus의 전류값이 기준 전류값보다 작을 때 10kW Battery가 방전하여 SOC가 감소하여 부족 전력에 대한 보상을 하고 있다. 그러나 DC-bus의 전류값이 기준 전류값보다 클 때 Battery가 충전하여 SOC가 높아져서 전력을 저장한다.

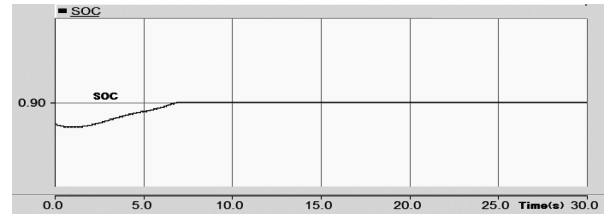


〈그림 3〉 DC bus의 전류 변화

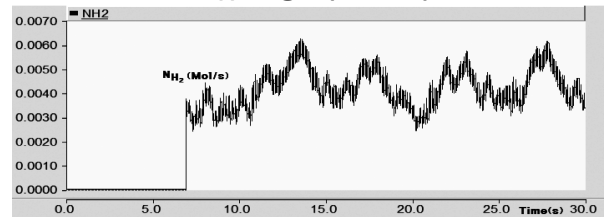


〈그림 4〉 Battery의 SOC 변화

잉여 전력이 발생하여 Battery가 충전하다가 <그림 5>에서 보듯이 약 7초에 SOC가 0.9까지 도달하면 Battery는 멈추고 <그림 6>처럼 Electrolyzer가 나머지 잉여 전력을 수소를 생산하는데 사용한다.



〈그림 5〉 충전시 SOC변화



〈그림 6〉 Electrolyzer의 수소 유속 변화

## 3. 결 론

태양광 발전의 출력은 일사량과 외부온도와 같은 외부적 환경적 요인에 종속되기 때문에 수요전력에 맞게 출력할 수 없다. 그래서 본 논문은 10kW Battery와 10kW Electrolyzer를 이용하여 50kW 태양광 발전의 효율적인 운영 방안을 PSCAD/EMTDC를 기반으로 하여 연구하였다. 최대출력추종제어(MPPT)로 운영하는 태양광 발전, Battery 그리고 물분해를 통해 수소를 생산하는 Electrolyzer를 모델링하였으며, 이를 바탕으로 태양광 발전 시스템을 구축하였다.

태양광 발전에 생기는 전력을 저장할 때에는 Battery가 Electrolyzer보다 에너지 효율이 높고 충전·방전을 할 수 있어서 더 많이 이용하는 것이 효율적이다. 태양광 발전의 출력이 수요전력과 비교해서 잉여되면, 즉 DC-bus 전류값이 기준 DC-bus 전류값보다 큰 경우 Battery, Electrolyzer를 이용하여 전력을 저장하고, 태양광 발전의 출력이 수요전력에 비해 부족할 때에는 즉 DC-bus 전류값이 기준 DC-bus 전류값보다 작은 경우 Battery가 방전하여 전력을 공급할 수 있게 운영을 하였다. 본 연구는 태양광 발전의 안정적 전력 공급을 가능하게 하며, 추후 Electrolyzer에서 생산된 수소를 이용하는 연료전지- 태양광 하이브리드 시스템 연구에 기여 할 것이다.

## [참 고 문 헌]

[1] W.Xiao, W. Dunford, and A.Capel, " Modeling emthod for photovoltaic cells", in Power Electronics Specialists Conference, 2004  
 [2] Qystein Ullevberg, "Modeling of advanced alkaline Electrolyzer : a system simulation approach", International Journal of Hydrogen 3nergy, vol 28, pp 21~33, 2003  
 [3] Massomo Ceraolo, "New Dynamical Models of Lead\_Acid Batteries", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.15, No.4 November, 2000