

최소 자승법을 이용한 태양광 · 풍력 복합 발전 시스템의 최적 용량 선정

김시경
공주대학교 전기공학과,

유권종, 송진수
한국에너지 기술연구소

An Optimum Power Rating Selection of a Photovoltaic - Wind Hybrid Generation System Utilizing Least Square Method

Kim Sikyung
Kongju National University

Gwonjong Yu, Jinsoo Song
Korea Institute of Energy and Resources

본 논문에서는 그리드 독립형 · 태양광 · 풍력 복합 발전 시스템에 대한 최적의 태양광 어레이 사이즈 및 풍력 발전 시스템을 결정하는 방법을 제안하였다. 연구에 사용된 어진 풍속 및 태양광 일사량에 대한 데이터는 제주도 지역에서 1년간 실측되어진 데이터를 기준으로 하였으며, 이러한 실측되어진 데이터는 풍속 및 태양광의 확률 밀도 함수(Probability Density Function)를 결정하는데 사용되어졌다. 풍속 및 태양광 일사량의 확률 밀도 함수와 태양광 어레이 및 풍력 발전기의 여러 파라미터는 복합 발전 시스템의 평균 발생 전력을 계산하는데 사용하였고, 도서지역에서 1년간 계측되어진 부하의 변동에 대하여 최적의 태양광 어레이, 풍력 발전 용량을 선정하기 위하여 최적 자승의 법칙이 사용되었다.

I. 서론

석유대체 에너지로서 뿐만 아니라 지구 환경문제의 개선책으로 무공해 청정 에너지를 공급할 수 있는 태양에너지, 풍력에너지를 전기에너지로 변환하는 태양광, 풍력 발전은 미래에너지로써 기대 되고 있는 신 에너지 기술이다. 태양광 전원을 독립적으로 부하에 연결하게 되는 경우는 배터리의 수명을 단축시키게 되는 문제점을 야기시킨다. 따라서, 태양광 발전이 활발하지 못한 저녁 기간 동안에 백업으로 전력을 공급할 수 있는 등록성 전력 특성을 가지는 풍력 전원이 요구되어진다. 따라서, 풍력 전원을 부가하므로서 단독 태양광 발전 시스템에서 나타나지는 배터리 과충전 손상의 문제점을 크게 감소시킬 수 있다. 또한 가격적인 측면에서 있어서도 전력 저장 기능을 가지는 배터리의 사용은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 복합 태양광 발전시스템을 선택하여 해결할 수 있다.

본 연구에서는 제주도 지역에서 실측한 데이터를 근거하여 태양광 풍력 복합 발전 시스템의 최적용량을 선정하는 방법을 제시하였다. 실측한 태양광의 일사량과 풍량은

일반적으로 웹던변수로 고려되어지므로[1]. 풍량과 태양광을 묘사하기 위하여서는 통계적 방법을 이용하여야 한다. 본 연구에서는, 최소 자승법을 이용하여 풍력 발전과 태양광 발전량의 합이 주어진 부하의 수요 전력에 일치하도록 하였다. 또한 본 연구의 최소 자승법은 주어진 부하에 대하여 최적의 태양광 출력과 풍력 발전양을 결정하였다.

II. 풍속 및 일사량 확률 밀도 함수 계산

II.1. 풍속 분포 함수(Wind Speed Distribution Function)

풍속과 일사량의 크기는 웹던 프로세서로 묘사되어 진다. 따라서 태양광과 풍력 파라미터들은 통계적인 파라미터로 묘사하는 것이 바람직하다. 풍속은 지표로부터 20(m)에서 계측되어졌다[3]. 따라서 터빈에서 발생되어지는 풍속을 계산시에는 지표에서 터빈까지의 높이를 고려한 풍속 방정식을 고려해야 한다. 가장 대표적인 방정식은 다음과 같이 표현되어진다.[2]

$$v = v_i \left[\frac{h}{h_i} \right]^k \quad (1)$$

여기에서 : v - 높이 h 에서 고려되어지는 풍속

v_i - 높이 h_i 에서의 풍속

a - 파워 지수 (장아의 경우 (1/7))

풍속 분포는 Weibull 분포 함수를 가진다고 가정하자. 그러므로 풍속 확률 밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.[2]

$$f(v) = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (2)$$

여기에서 : c - 스케일 택터(풍속 단위)

k - 세일 택터(무 차원), v - 풍속

그림 1은 1년동안 제주도 지역에서 실측한 풍량을 weibull 분포함수로 나타낸것이다.

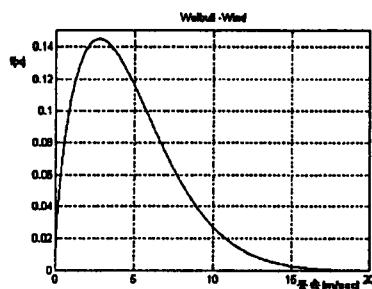


그림 1. 제주도 월령지역 풍속 분포 함수

II. 2 풍력 터빈과 태양광 모듈 평균 출력 계산

II. 2.1 풍력 평균 출력

풍력 터빈으로부터의 평균 전력 출력은 다음 식으로 구해 진다. [2]

$$P_{w,ave} = \int_0^{\infty} P(w)f(v)dv \quad (3)$$

여기서 $f(v)$ 는 식 [2]에서 주어진 확률 밀도 함수,

$p(v)$ 는 터빈의 전기적 전력 출력

본 연구에서는 독일의 Husumer Schiftswerft사의 30kW 풍력 발전기가 사용되어졌다. 이 풍속 발전기의 사양은 다음과 같이 주어진다. (Type : HRI, 경계출력 : 30kW@13m/sec, 최대 출력 : 32(kW), Cut-in 풍속 : 4(m/sec), Cut-out 풍속 : 20(m/sec))

식 (2)를 식 (3)에 대입하여 정리하면

$$P_{w,ave} = P_R \cdot \frac{\exp\left[-\left(\frac{v_c}{c}\right)\right] - \exp\left[-\left(\frac{v_R}{c}\right)^k\right]}{\left(\frac{v_R}{c}\right) - \left(\frac{v_c}{c}\right)^k} - \exp\left[-\left(\frac{v_F}{c}\right)\right] \quad (4)$$

여기에서 P 는 경계 전기 출력, v_c 는 cut_in 풍속, v_R 은 정격 풍속, v_F 는 cut_off 풍속, c 는 Weibull Shape

Parameter

II. 2.2 태양광 모듈 평균 출력 전력

태양광 모듈의 평균 출력 전력은 다음 식에 의하여 구해 진다.

$$P_{s,ave} = \int P(s) \cdot f(s)ds \quad (5)$$

여기에서 $f(s)$ 는 실측 테스트에 의하여 결정되어지는 확률 밀도 함수이고 $p(s)$ 는 모듈 출력 전압과 출력 전류의 곱이다. 모듈 출력 전류 I 는 모듈 전압의 함수로 다음과 같이 주어진다. [8]

$$I = I_{SC}(1 - C_3[\exp(C_4 V^m) - 1])^n \quad (6)$$

여기에서 C_3, C_4, C_5, n 은 태양광 모듈로부터 계산되어지는 값이다. 본 연구에서 사용되어진 모듈의 파라미터는 다음과 같다.(제조회사 : LG, 최대 출력 : 53 watt, 최대 출력 전압 : 17.4(V), 최대 출력 : 3.0(A))

III. 부하예측 및 태양광 어레이 사이즈 선정

그림 2은 호도 지역에서 실측되어진 시간별로의 부하 변동을 나타내고 있다[4]. 제주도 역시 도서지역으로서 그림 2와 유사한 부하변동을 가진다고 가정할수 있겠다. 이들 부하 변동은 2개의 다른 함수의 선형 조합으로 fitting 되어지며 이들 함수 중의 하나는 태양광 모듈의 평균 출력 전류이고 다른 하나는 풍력 발전 시스템의 평균 출력 전력이다. 그림 3은 제주도 지역에서 얻어진 태양광과 풍력의 출력 데이터를 나타내고 있다.

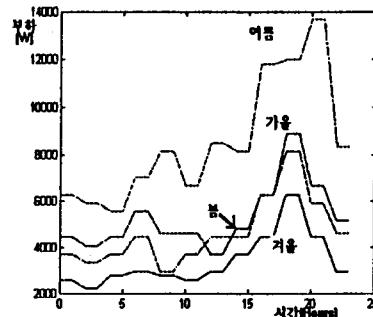


그림 2. 도서 지역 부하변동곡선

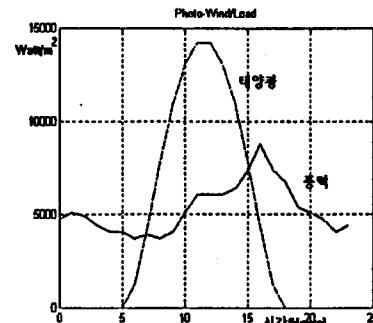


그림 3. 시간별 태양광 풍력 출력(W/m²)

III. 1 복합 발전 시스템의 장점 계산

우선, 부하의 요구를 충족하기 위한 단독 태양광 발전 시스템의 용량과 단독 풍력 발전 시스템의 용량 선정

은 다음 방정식으로부터 얻어진다.

$$\begin{aligned} P_0 \cdot n_p &= L, \\ W_0 \cdot n_w &= W \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서 nP : 전체 부하 L 을 충족하고 PV아레이의 모듈 수, nW : 전체 부하 L 을 충족하고 풍력 시스템의 수, P_0 : PV시스템과 풍력 시스템의 효율, P_0 : 단독 PV시스템의 발전양의 합, W_0 : 단독 풍력 시스템의 발전양의 합
복합 발전 시스템에 대하여 다음 방정식을 구현할 수 있다.

$$tP_0(i) + (1-t)W_0(i) = L(i) \quad (8)$$

여기에서 t : 풍력과 태양광 발전 시스템의 사이즈를 정의하는 비이고 i : 한 달의 특정일 1 시간이다.

최소 자승법을 이용하여 출력 전력과 부하의 편차의 자승의 합을 최소화시키는 t 를 계산하면

$$t = [(P_0 - W_0)^T(P_0 - W_0)]^{-1}(P_0 - W_0)^T(L - W_0) \quad (9)$$

여기에서 P_0 : 1x24 vector, 1차 시간에서의 PV발전을 나타내는 vector, W_0 : 1x24 vector, 1차 시간에서의 풍력발전을 나타내는 vector, L : 1x24 vector, i차 시간에서의 부하 요구를 나타내는 vector

만일 t 가 $0 < t < 1$ 사이 값을 가지면 복합 발전 시스템이 단독 발전 시스템에 비하여 장점을 가진다. 그림2,3의 데이터를 이용하여 제주도 지역의 t 값을 계산해보니 0.26이 도출되었다. 이는 제주도 지역에서 복합 발전 시스템이 단독 발전 시스템에 비하여 장점을 지님을 나타내고 있다.

III. 2. PV모듈의 수요 계산

일단 복합 발전 시스템의 장점을 결정되어지면, PV시스템의 최적 사이즈는 결정되어진다. 한 달의 대표적인 날에 부하에 요구를 충족시킬 수 있는 태양광 출력량은 계산할 수 있으며 요구되어지는 부하의 크기는 적어도 PV발전양과 풍력 발전양의 합보다 커야 하므로 PV량의 결정은 다음 알고리즘에 의하여 결정되어진다.

- 매 대표적인 날에 대한 부하 요구 L 을 충족시키는 에너지를 계산한다. (풍력 에너지 및 PV모듈 에너지)
- PV 아레이의 모듈 수가 1개라고 가정한다.
- W_0+nP_0L 가 발생되어지는 동안, PV아레이의 모듈 수 n 을 증가시킨다.
- PV모듈의 최적수를 n 으로하여 계산한다.

그림 4는 제안된 방법으로 얻어진 복합 발전시스템의 출력과 부하변동을 나타내고 있다.

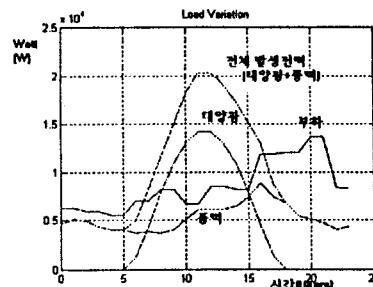


그림 4. 시간별 복합발전 출력 및 부하변동

IV. 해석, 결과, 논의

제안되어진 최적 발전 시스템 선정을 일종하기 위하여 제주도 월평 신재생에너지 시범단지 지역의 풍속 및 태양광 일사량 데이터가 사용되어졌다. 풍력 시스템은 독일의 Husumer Schiffs Werft Inh사의 30kw 풍력 시스템이 사용되어졌다. 태양광 모듈(제작 : LG)의 용량은 제안되어진 PV모듈 최적 기법을 사용하여 결정하였다. 식 (7)으로부터 PV 모듈의 숫자나 풍력 발전의 수치가 결정되었으며 식 (8)을 이용하여 최적의 t 비율 0.26가 구하여졌다. 따라서 본 제주도 시범 단지에서는 복합 발전 방식이 단독 태양광 발전 및 풍력 발전에 비하여 이용률 측면에 장점을 가진다.

풍력과 태양광 발전의 최적 복합 용량 선정은 부하의 특성과 이용 가능한 자연 에너지의 출력 전력 특성에 의존적이다. 이 기법은 또한 배터리의 용량을 최소화시키는 장점을 가진다. 그 이유는 배터리가 태양광과 풍력으로부터 공급되어지는 에너지가 불충분한 경우에만 백업으로 사용되어지기 때문이다. 따라서 전체 시스템의 가격은 최소화되어진다.

참고 문헌

- [1] E.G. Gavaniidou et al, "Design of a Standalone System With Renewable Energy Sources Using Trade off Methods", IEEE Tran. Energy Conversion, vol. 7, No.1, March1992
- [2] Z.M. Salameh, I ferrati, "Optimum Windmill Site Matching", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.7, No.4 Dec. 1992
- [3] 중형급 풍력 발전 시스템 운영기술개발, pp.10-12, 전력 연구원, 1995
- [4] 100kW급 독립전원 공급용 시스템 개발, pp.40-44 전력 연구원, 1994
- [5] 국내 일사량 평가 및 데이터 표준화 연구, 에너지 기술연구소, 1993