

단기 평균값을 이용한 풍력발전 출력 평활화 제어 효과 분석

윤태섭¹, 김일환^{2*}
한국 전력거래소¹
제주대학교 전기공학과²

Analysis on the Effectiveness of Wind Power Fluctuation Based on Short-term Average Power

Tae Seop Yoon¹, Eel Hwan Kim^{2*}
Korea Power Exchange¹

Department of Electrical Engineering, Jeju National University²

ABSTRACT

The intermittent characteristics of wind power (WP) may have negative effect on grid stability, especially in weak grid. WP fluctuation rate can be reduced by using energy storage system (ESS) through charging and discharging. The operation of ESS will decide its losses and lifetime of batteries. From this point, this paper proposes WP smoothing control by using short term average of WP. In this case, the ESS will only operate at high WP fluctuation rate. Then, the output power of ESS will be estimated by short term average value. The effectiveness of proposed method will be verified by comparing with conventional method. The simulation results will be carried out by using Matlab program.

1. 서론

화석 연료의 사용이 야기한 문제를 해결하기 위한 신재생에너지 보급이 활발하게 이루어지고 있으나, 신재생에너지원의 간헐적 출력특성은 새로운 문제를 야기하고 있다. 특히 풍력발전에서 시시각각 변하는 출력 변동은 계통의 전압, 주파수 변동을 초래할 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 제주특별자치도에서는 풍력발전단지 출력안정화를 위한 에너지저장장치 (ESS) 설치 의무화를 조례로 지정하였으며, 한국전력공사의 송배전용 전기설비 이용규정에서는 풍력발전기의 분당 증발률을 단지용량의 10% 이내로 제한하고 있다. 풍력발전단지의 출력변동률을 조정하기 ESS를 이용하여 출력변동률이 조정하는 방법이 있다^[1]. ESS를 이용하는 방법 중에는 Smoothing, Firming, Ramp rate 제어가 있으며, 이중 Ramp rate 제어는 풍력 발전 출력의 변화량을 계산하여, 설정된 출력 변화량을 초과한 경우에만 ESS가 가동되는 특징이 있다. 그러나 기존의 Ramp rate 제어는 현재와 직전 두 Sampling data를 이용하여 ESS의 출력 지령치를 결정하기 때문에 정확도가 저하될 우려가 있으며 다음 Sampling time에 출력의 기울기의 부호가 바뀌었을 때, 오실레이션이 발생될 우려가 있어 추가 제어를 필요로 한다^{[2] [3]}. 따라서 본 논문에서는 분당 출력변동

률을 감시하여 설정된 10% 초과 시에만 제어 수행 명령을 내리고, ESS의 출력은 풍력 출력 단기 평균값에 의해 결정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존 Ramp rate 제어와 비교 분석하였으며, 정확한 컴퓨터 해석을 위해 제주지역 15 MW 풍력발전단지에 전력품질 분석기를 연계하여 1초 단위로 측정된 데이터를 이용하였다.

2. Ramp Rate 제어 방법

기존의 Ramp rate 제어 시 ESS의 출력 지령치와 풍력 합성 출력은 식 (1) (4)과 같이 결정된다.

$$\Delta P = P_t - P_{t-1} \quad (1)$$

$$Ramp_{lmt} = Rate_{set} \times Wind_{capacity} / (100 \times 60s) \quad (2)$$

$$P_{ref} = \begin{cases} \Delta P - Ramp_{lmt} & \frac{\Delta P}{\Delta t} > Ramp_{lmt} \\ \Delta P + Ramp_{lmt} & \frac{\Delta P}{\Delta t} < -Ramp_{lmt} \\ 0 & -Ramp_{lmt} \leq \frac{\Delta P}{\Delta t} \leq Ramp_{lmt} \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{total,t+1} = P_{t+1} - P_{ref} \quad (4)$$

여기서, $P_{total,t+1}$ 은 t+1초의 풍력/ESS 합성 출력, P_{ref} 는 ESS의 출력 지령치, P_t 는 t초의 풍력발전 출력, Δt 는 Sampling 주기, $Ramp_{lmt}$ 는 풍력발전 출력 기울기 제한 값, $Rate_{set}$ 은 출력변동 제한률, $Wind_{capacity}$ 는 풍력발전단지용량을 나타낸다^[3].

2. 제안된 풍력 평활화 방법

전력계통의 규모에 따라 풍력출력 변동은 전압강하, 주파수 변동 등 악영향을 끼칠 수 있다. 그러나 과도한 ESS의 동작은 손실을 증가시키며, ESS의 수명 또한 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 본 논문에서는 분당 출력변동률을 확인하고 계통 영향에 미미한 낮은 출력 변동은 무시하고 10% 이상 변동시에만 제어를 수행하는 방법을 제안한다. 제안된 풍력 출력 평활화 제어는 식(5) (7)과 같이 결정된다.

$$fluc_{rate} = \frac{f_{max}(P_{t-59} : P_t) - f_{min}(P_{t-59} : P_t)}{capacity} \times 100 \quad (5)$$

$$P_{ref} = f_{mean}(P_{t-n} : P_t) - P_t \quad (6)$$

$$P_{total,t+1} = P_{t+1} - P_{ref} \quad (7)$$

여기서, $fluc_{rate}$ 는 풍력출력 분당 변동률, n 는 단기 평균 결정 계수, $f_{mean}(P_{t-n} : P_t)$ 는 단기 풍력 출력 평균 출력을 나타낸다. ESS는 풍력 출력 데이터를 수집하여 분당 변동률을 계산하고, 설정된 10%를 초과하게 되면 제어를 수행한다. 이때 ESS의 출력 지령값은 t 초부터 과거 n 초까지의 평균값에 의해 결정된다. 계수 n 의 값에 따른 ESS 출력 요구치는 그림 1, 최대 분당 변동률은 그림 2와 같으며, 풍력 이용률이 제주도 연평균 이용률에 가까운 23.6%인 2015년 2월 21일 기준으로 분석하였다. 그림 1, 2의 결과를 바탕으로 본 논문에서는 n 의 최적값을 6으로 산정하여 컴퓨터 해석하였다.

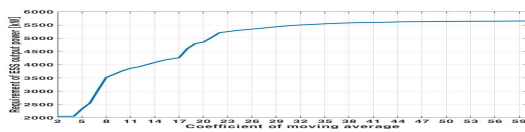


그림 1 계수에 따른 ESS 출력 요구치
Fig. 1 Maximum output power of ESS depend on n

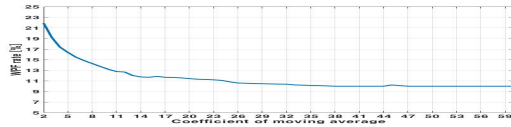
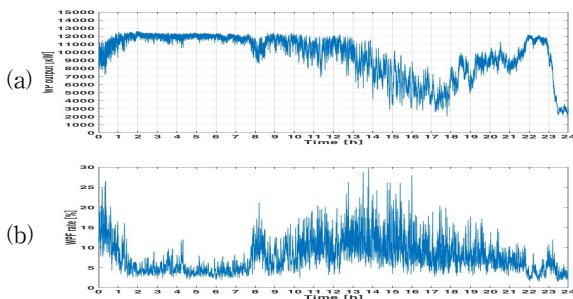


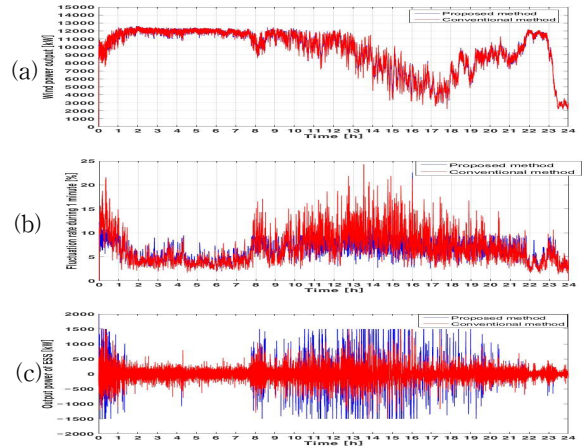
그림 2 계수에 따른 최대 분당 출력변동률
Fig. 2 Maximum Wind power fluctuation rate depend on n

3. 컴퓨터 해석

본 논문에서는 제주지역 15 MW 풍력발전단지 2015년 중 가장 출력변동이 큰 3월 23일 풍력발전 출력을 이용하였으며, 컴퓨터 해석을 위해 ESS의 출력은 단지용량의 10%인 1,500 kW로 제한하였으며, PCS와 배터리의 round trip 효율은 90%로 산정하여 손실을 산정하였다. 그림 3(a),(b)은 해당 일에 풍력발전 출력 및 분당 출력 변동률을 각각 나타낸다. 또한 그림 4(a),(b),(c)는 기존의 Ramp rate 제어와 제안된 풍력 출력 평활화 방법의 풍력발전 및 ESS 출력, 분당 출력변동률을 각각 나타낸다. 표 1은 그림 4의 컴퓨터 해석 결과를 나타낸다.



(a) 풍력발전 출력 (b) 분당 변동률
(a) Wind power output (b) Fluctuation rate
그림 3 2015년 3월 23일 풍력 출력 데이터
Fig. 3 Wind output data on Mar 23, 2015



(a) 풍력발전 출력 (b) 분당 변동률 (c) ESS 출력
(a) Wind power output (b) Fluctuation rate
(c) Output power of ESS

그림 4 2015년 3월 23일 컴퓨터 해석 결과
Fig. 4 Simulation results on Mar 23th, 2015

표 1 시뮬레이션 결과
Table 1 Simulation results

Item	Ramp rate control	Proposed method
Maximum wind power fluctuation rate	24.3%	22.6%
The number of wind power fluctuation rate over 10%	15365 times	2168 times
Operation time of ESS	55523 s	13974 s
Total losses	385.0 kWh	484.5 kWh

4. 결론

컴퓨터 해석 결과를 통해 제안된 풍력 출력 평활화 방법을 기존의 Ramp rate 제어와 비교한 결과 제안된 방법의 ESS의 가동횟수, 분당 변동률 제어 능력 모두 우수한 성능을 보였다. 이때 그림 4에서 확인 할 수 있듯 총 손실의 경우 제안된 방법이 동작 횟수는 적으나 ESS의 총 충·방전량은 더 많기 때문에 손실 또한 증가한 것 확인 할 수 있다. 따라서 제안된 방법을 풍력발전단지의 출력변동률 제어 적용한다면 분당 변동률 제한과 배터리의 수명 연장에 기여할 것이라 사료된다.

참고 문헌

[1] D. Lee and R. Baldick, "Limiting Ramp Rate of Wind Power Output using a Battery Based on the Variance Gamma Process", RE&PQJ, Vol. 1, No. 10, pp. 1591-1596, 2012, April.
[2] C. Abbey and G. 100s, "Short term energy storage for wind energy application," in Proc. 40th IEEE Industry Application Conference, vol. 3, pp. 2035-2042, 2005.
[3] A Esmaili and A Nasiri, "Power smoothing and power ramp control for wind energy using energy storage," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 922-927, 2011.