

## 분산전원 출력 smoothing에 관한 연구

류기환\*, 신희상\*, 강병욱\*, 채희석\*, 이보배\*, 추동욱\*\*, 김재철\*  
 송실대학교\*, 국제대학교\*\*

### A Study on Distributed Generation Output Smoothing

Ki-Hwan Ryu\*, Hee-Sang Shin\*, Byoung-Wook Kang\*, Hui-Seok Chae\*, Bo-Bae Lee\*, Dong-Wook Choo\*\*, Jae-Chul Kim\*  
 Soongsil University\*, Kookje College\*\*

**Abstract** - To promote the introduction of wind power conversion systems, which have an unstable power output, the adoption of energy storage system is being considered to mitigate variations of wind power output. This paper presents the results of analyzed data obtained by the wind power output smoothing tests.

#### 1. 서 론

최근 우리나라는 전력소비량이 지속적으로 증가됨에 따라 이를 해결하기 위하여 발전량을 지속적으로 증가해야 하는 상황이다. 발전량 증가의 대책으로 기존에 사용하던 화력 및 원자력발전 등의 대형 발전소 확충하는 방법은 부지확보 문제, 교토의 정서에 따른 환경 문제, 에너지 자원 문제 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점에 대책으로 최근에는 에너지원의 효율적 활용을 목표로 분산전원의 개발과 도입이 적극 추진되고 있으며, 분산전원의 종류 중에서도 신재생에너지 시스템이 급속도로 설치되고 있는 실정이다. 풍력발전 및 태양광 발전은 자연에서 발생하는 에너지를 가용 에너지로 변환하여 사용하는 신재생에너지 시스템으로 무한정, 청정에너지원이다. 하지만 출력제어가 불가능하다는 단점을 가지고 있기 때문에 주파수 및 전압 제어에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 출력제어가 가능 하도록 여러 보상장치들의 적절한 설치와 제어가 요구된다[1].

본 논문에서는 풍력발전기 출력의 smoothing(평탄화)과 target output의 개념을 설명하고, MATLAB을 통해 target output 적용과 유지시간에 따른 풍력발전기 출력 smoothing을 확인 하였다.

#### 2. 분산전원 출력 smoothing

##### 2.1 에너지저장장치의 도입

풍력발전은 풍속의 세제곱과 터빈의 면적에 비례하여 에너지가 발전된다. 풍속은 우리가 제어해 줄 수 없는 기상조건이기 때문에 풍력발전량을 임의로 조절할 수 없다. 따라서 풍력발전에 의해 출력되는 에너지량도 시시각각 큰폭으로 변동하기 때문에, 제어할 수 있는 고풍력의 에너지저장장치를 연계하여 자연에너지 발전의 출력변동 smoothing을 이루고자 한다[2].

에너지저장장치를 풍력발전의 출력변동 제어와 계획 발전에 적용할 경우 완성품질, 에너지저장장치의 용량, 에너지저장장치의 종류, 그리고 에너지저장 장치의 제어 기술 등의 설정이 필요하다.

##### 2.2 분산전원 출력 smoothing의 개념

풍력발전기는 실시간으로 발전량이 변하기 때문에 부하에 전력을 공급할 때, 해당 기준의 공급오차범위를 벗어날 경우 각종 전자제품의 고장 및 오작동의 원인이 될 수 있다. 전력 수급 균형이 실시간으로 일치하지 않을 경우, 전압 및 주파수에 이상이 발생하게 되어 전체 전력계통의 품질 저하를 초래한다. 풍력발전기를 계통에 연계하여 사용하기 위해서는 실시간으로 변화하는 풍력발전량을 smoothing할 수 있어야 한다. 분산전원 출력 smoothing이란 풍력발전과 같이 출력제어 불가능 분산전원에 에너지저장장치(ESS)를 도입하여 실시간으로 풍력발전기의 발전량의 변동에 대응할 수 있도록 하는 것이다[3].

일본은 Hokkaido Island에 위치한 Tomamae Wind Villa Wind Farm에서 에너지저장장치를 도입하여 풍력발전기의 출력 smoothing을 진행 중이며, 현재 우리나라는 제주도 김녕지구에 에너지저장장치의 출력 smoothing 성능 및 신뢰성 검증이 목표인 실증단지가 설치되고 있다.

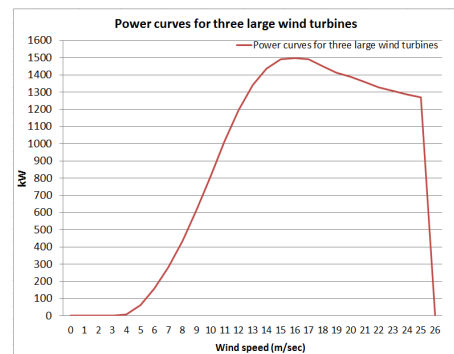
#### 3. 풍력발전기의 출력 smoothing에 관한 시뮬레이션

풍력발전기의 출력 Smoothing을 확인하고자 시뮬레이션을 진행한다. MATLAB을 통하여 풍력발전기의 출력량을 생성하고, target output의 유지시간에 따라

풍력발전기의 출력이 어느정도 smoothing이 되는지 확인할 것이다.

시뮬레이션은 4가지 가정을 두고 진행한다.

- 1) 에너지저장장치는 이상적인 에너지저장장치로 충/방전량의 제한이 없고, 용량(kWh)과 출력(kW)의 제한이 없다.
- 2) 풍력발전량은 MATLAB을 통해 생성한 랜덤한 풍력발전량을 사용한다.
- 3) 풍력발전기의 출력량과 target output의 유지시간만을 고려하여 시뮬레이션을 진행한다.
- 4) target output값은 풍력발전기의 발전패턴을 통해 설정한 값을 사용한다.



〈그림 1〉 power curve (VESTA NEG-Micon 1500)

##### 3.1 풍력발전기 출력 모델링

풍력발전기의 출력 smoothing을 진행하기 위해서는 목표출력값인 target output과 현재의 풍력발전량을 알아야한다. 이는 target output과 현재 풍력발전량의 비고를 통해서 에너지저장장치의 충/방전량을 결정할 수 있기 때문이다.

실시간으로 변하는 풍력발전 데이터 취득 방법은 크게 2가지가 있다. 첫 번째 방법은 실시간으로 통신선을 통해서 데이터를 취득하는 방법이 있고, 두 번째 방법은 실증된 풍력발전기의 발전 특성을 분석하여 미리 예측하는 방법이다.

##### 3.1.1 풍력발전기의 특성

본 논문에서는 풍력발전기의 발전 특성을 통하여 임의로 랜덤한 풍력 데이터를 추출할 것이다. 풍력발전기는 1.5[MW]인 VESTA사의 NEG-Micon을 선정하였다. NEG-Micon은 cut in-4[m/sec], cut out-26[m/sec]의 특성을 가지며, 그림 1과 같은 power curve를 가진다[4].

##### 3.1.2 MATLAB을 통한 풍력발전기의 출력량 생성

power curve를 생성하고 MATLAB을 통해서 curve를 추종하는 식 1과 같은 6차 방정식을 생성한다.

$$y = 1px^6 + 2px^5 + 3px^4 + 4px^3 + 5px^2 + 6px + 7p \quad (1)$$

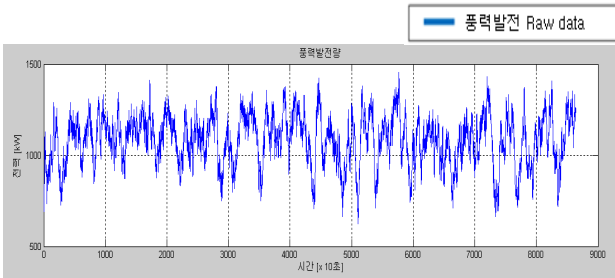
$$1p = -0.0004741 \quad 4p = 14.15$$

$$2p = 0.03839 \quad 5p = -62.59$$

$$3p = -1.132 \quad 6p = 91.27$$

$$7p = -16.68$$

식 1의 x값에 임의의 풍속[m/sec]값을 대입하면 그에 따른 풍력발전량[kW]인 y값을 그림 2와 같이 구할 수 있다.



〈그림 2〉 풍력발전 raw data

그림 2는 sampling time을 10초에 1개씩 받도록 설정하고 랜덤한 풍력발전량[kW]을 식 2와 같이 하루(24시간)동안 8640개의 데이터를 생성한 것이다. 본 논문에서는 이 풍력발전량을 가지고 시뮬레이션을 진행한다.

$$6(6\text{개}, 6/60\text{초:1분}) \times 60(60\text{분}) \times 24(24\text{시간}, 1\text{일}) = 6 \times 60 \times 24 = 8640\text{개} \quad (2)$$

### 3.2 target output에 따른 smoothing의 결과

#### 3.2.1 target output의 개념

$$T_o = E_o + W_G \quad (3)$$

$T_o$  : target output

$W_G$  : 풍력발전량

$E_o$  : 에너지저장장치의 충/방전량 [+ : 방전, - : 충전]

target output이란 목표출력량이란 뜻으로 식 3과 같이 풍력발전기의 실시간 발전량과 에너지저장장치의 충/방전량을 가산한 값이다. 최종적으로 target output값은 풍력발전기의 출력 smoothing값과 같은 값으로 최종적으로 원하는 목표출력량이 되는 것이다. 에너지저장장치는 target output값을 유지하기 위해서 풍력발전량이 target값보다 작을시 방전을 통해서 에너지를 가해주고, target값보다 클때는 충전을 통해 에너지를 감해주는 역할을 한다.

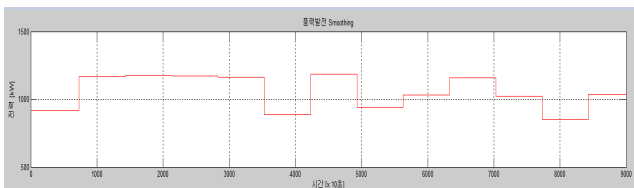
본 논문에서는 target output값을 풍력발전기의 발전패턴을 통해 미리 구해 놓은 표 1을 가지고 시뮬레이션을 진행한다.

〈표 1〉 구간별 target output

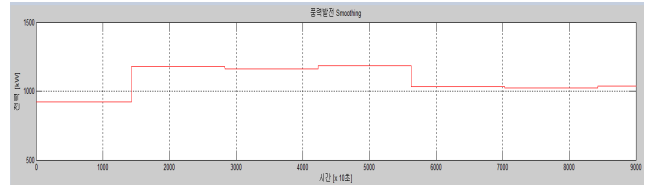
유지시간	구간별 target output [kW]
700초 (12구간)	1168, 1490, 1170, 1163, 886, 1186, 940, 1030, 1158, 1022, 851, 1037 [kW]
1400초 (7구간)	920, 1178, 1163, 1186, 1030, 1022, 1037 [kW]
2100초 (5구간)	920, 1170, 1186, 1158, 1037 [kW]
6000초 (2구간)	920, 982 [kW]

#### 3.2.2 smoothing의 결과

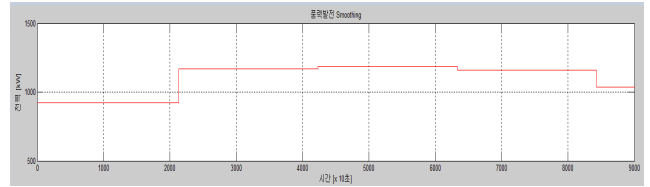
표 1은 각 유지시간에 구간별 사용되는 target output값을 나타낸 것이다. 표에 나타난 target output값과 각 구간의 풍력발전량을 10초마다 비교하여 출력 smoothing을 진행 하였으며, 그림 3은 표 1에 나타난 target output값과 smoothing 유지시간에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.



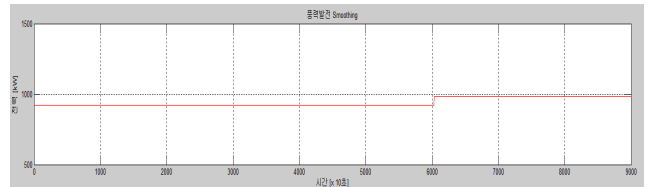
(a) 70개 data(700초)유지



(b) 140개 data(1400초)유지



(c) 210개 data(2100초)유지



(d) 600개 data(6000초)유지

〈그림 3〉 smoothing 결과

그림 3에서 유지시간이 가장 짧은 (a)와 유지시간이 가장 긴 (d)를 비교했을 때 smoothing의 정도가 확연히 (d)가 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 시시각각 변화하는 풍력발전량의 smoothing에 관한 연구를 하였다. 풍력발전기의 출력 smoothing을 위해서는 target output에 대한 smoothing 유지시간이 길면 길수록 유리하다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인 하였다.

본 논문에서는 이상적인 에너지저장장치를 가정하여 충/방전의 제약없이 시뮬레이션을 하였지만 실제로 풍력발전기의 출력 smoothing을 위해서는 에너지저장장치의 용량과 동작특성을 고려하여 smoothing 유지시간을 적절하게 선정해 주어야 할 것이다. 또한 실시간의 변화하는 풍력발전기의 출력 데이터를 통하여 target output을 정해주는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 향후 연구에는 실시간으로 풍력발전량 데이터를 받아서 target output을 설정하는 방법에 대해 검토 할 것이며, 실제 사용되는 에너지저장장치의 특성을 파악하여 에너지저장장치의 용량을 고려한 분산전원 smoothing 운영방안에 대한 연구를 진행 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Josep M. Guerrero, "Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids-A General Approach Toward Standardization", IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL. 58, NO. 1, pp158-172, January 2011.
- [2] K. Yoshimoto, "New Control Method for Regulating State-of-Charge of a Battery in Hybrid Wind Power/Battery Energy Storage System", Proceedings of 2006 IEEE PES Power Systems Conference & Exposition, pp1244-1251, October 2006.
- [3] K. Yoshimoto, "Analysis of Data Obtained in Demonstration Test about Battery Energy Storage System to Mitigate Output Fluctuation Wind Farm", Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System CIGRE/IEEE PES Joint Symposium, July 2009.
- [4] Gilbert M, "Renewable and Efficient Electric Power Systems", Wiley-Interscience, pp364, 2004.