

전기저장 장치가 포함된 풍력발전 시스템에 대한 시뮬레이션

*오 시덕¹⁾, 임 희수²⁾, 서 석호³⁾, **김 기영⁴⁾

Simulation of the Wind Power Generation System with Energy Storage System

*Si-Doek Oh, Hee-Sue Lim, Seok-Ho Seo, **Ki Young Kim

Key words : Energy Storage System(전기저장장치), Fluctuation(변동), Optimal Operation Planning (최적운전설계), Wind Power Generation(풍력발전)

Abstract : The wind power generation systems have a fluctuating or intermittent power output due to the variability of the wind speed. The amount of wind generation which can be connected to the grid without causing voltage stability problems is limited. In this study, the simulation of the wind power generation including energy storage system were performed to reduce the fluctuation of wind power output and to obtain the optimal operation planning of energy storage system.

Nomenclature

C: scale factor
k: shape factor
p: probability
R: random number
v : wind speed, m/s
 \bar{v} : mean wind speed, m/s

Greek Letters

Γ : gamma fuction
 σ : standard distribution

subscript

n : uniform distribution within finite interval [0 1]
wb: Weibull distribution

수한 환경친화적인 에너지원으로 각광받고 있지만 지역, 계절, 날씨, 기후 등의 영향으로 전력생산량을 예측하는데 어려움이 있다. 예를 들어 기존 발전시스템의 경우에는 일정한 전력을 생산할 수 있으며, 특히 소형 분산발전의 경우 수요측에서 전력사용량이 증가하면 이에 따라 가동률을 높여 전기를 많이 생산하고 수요측의 전력사용량이 감소하면 가동률을 낮추는 등의 기기 자체의 가동률 조절이 가능하다. 하지만, 풍력의 경우에는 자연에서 부는 풍속에 따라 발전량이 정해지기 때문에 수요측의 전력사용량이 변화했을 때 인위적인 제어가 불가능하다는 단점이 있다. 또한 풍속은 급격히 변화할 수 있기 때문에 계통연계 시 계통 안정성에도 영향을 줄 수 있다. 따라서 수요처의 전력사용량 변화에 따라 풍력 발전으로 생산된 전기 에너지를 충전 혹은 방전하거

1. 서론

산업이 발전함에 따라 에너지 소비에 대한 욕구 증가와 기존 에너지원인 화석연료의 소비량 증가로 온실가스 배출량 증가와 더불어 NOx, SOx 및 분진과 같은 유해 가스 배출로 인한 환경 문제가 큰 이슈가 되고 있다. 이에 따라 전 세계적으로 기존 화석연료를 대체할 신·재생에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

특히 풍력은 신·재생에너지원 중 경제성이 우

1) (주)효성

E-mail : ohsidk@hyosung.com
Tel : (031)596-1702 Fax : (02)596-1697

2) (주)효성

E-mail : limhs@hyosung.com
Tel : (031)596-1765 Fax : (031)596-1966

3) (주)효성

E-mail : shseo@hyosung.com
Tel : (031)596-1761 Fax : (031)596-1699

4) (주)효성

E-mail : kykim@hyosung.com
Tel : (031)596-1771 Fax : (031)596-1699

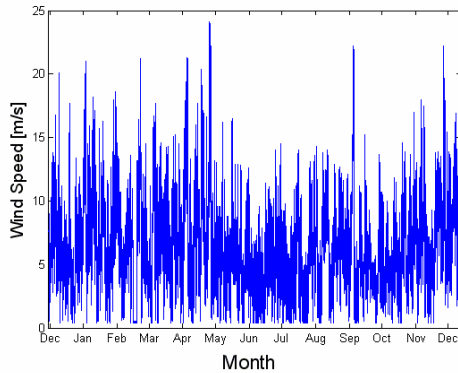


Fig. 1 Wind speed of Daegiri, KangwonDo

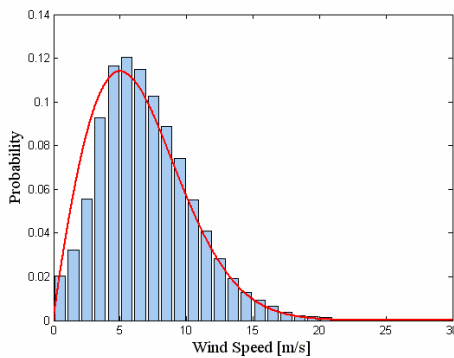


Fig. 2 The probability distribution of Fig. 1 and its fitting curve by using Eq. (1)

나, 일정량의 전기 에너지를 계통 혹은 수요처에 직접 송배전하기 위하여 배터리와 같은 전기저장장치를 부수적으로 설치하는 것에 대한 연구가 진행되고 있다.¹⁾

한편 풍력과 같은 신·재생에너지 발전사업의 경우 정격용량 3 MW이하일 경우 22.9 kV 송배전 선로에 바로 연결 가능하지만, 3 MW초과 설비의 경우 154 kV 전용선로에 연계해야 하기 때문에 송배전에 따른 추가 비용이 발생하게 되며, 더욱이 3 MW 초과 시에는 발전사업허가 기관이 광역시·도·지자체에서 산업자원부 전기위원회로 강화된다.²⁾

본 고에서는 풍력의 단점인 간헐성을 보완하는 방법으로 풍력 시스템에 전기저장장치가 결합된 시스템에 대하여 시뮬레이션을 수행하였고, 전기저장장치를 추가하였을 때 22.9 kV 송배전 선로 연결에 기준이 되는 3 MW 이내의 평균발전량을 가지는 풍력발전 설비 용량을 산정해 보고자 한다.

2. 풍력+전기저장장치 시뮬레이션

2.1 풍속/풍력 예측

풍력발전의 발전량은 풍력 터빈을 설치하고자 하는 지역의 풍속에 따라 영향을 받기 때문에 풍속을 예측하여, 그 지역의 환경에 알맞은 풍력터빈을 설치하는 것이 매우 중요하다. Fig. 1은 강원도 대گیری 지역에서 10분 간격으로 측정된 1년 간의 풍속 자료로 평균 풍속이 약 6.52 m/s로 관

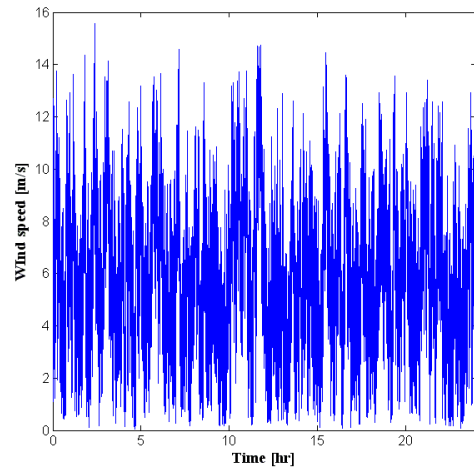


Fig. 3 Expected wind speed with Weibull distribution of Eq. 1.

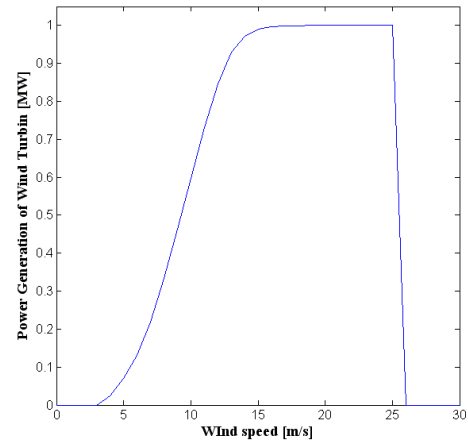


Fig. 4. Performance curve of 1MW wind turbine of Bonus

찰되었다.

측정된 풍속유형은 Fig.2와 같이 식(1)으로 표현되는 Weibull 분포 형태를 가지며, 이때 맞춤(curve fitting) 결과 scale factor, C는 7.3 그리고 shape factor, k는 1.9로 계산되었다.

$$p(v) = \left(\frac{k}{C}\right) \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^k\right] \quad (1)$$

이때 Weibull 분포의 평균과 분산은 다음의 관계식을 만족한다.

$$\bar{v} = CT \left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

$$\sigma^2 = C^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \left[CT \left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^2 \quad (3)$$

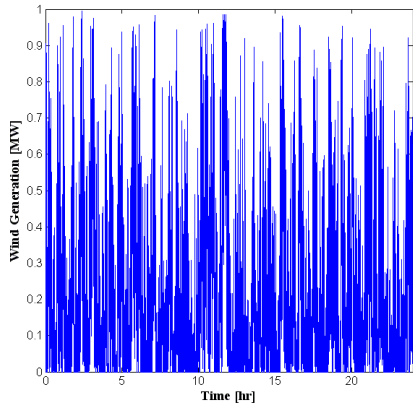


Fig. 5 Power generation of wind turbine obtained by using wind speed of Fig. 2

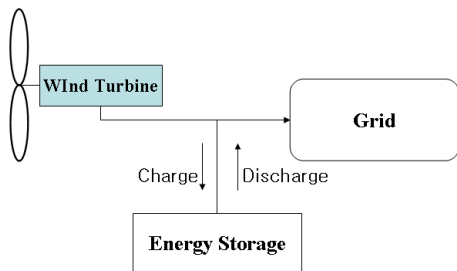


Fig. 6 Wind power generation system including energy storage system.

Fig. 3은 Weibull 분포 식(1)을 만족하는 난수를 이용하여 하루 동안의 풍속을 1초 단위로 예측한 그림이다. 이때 사용한 scale factor와 shape factor는 강원도 대기리의 풍속 데이터에서 얻은 7.3과 1.9를 사용하였다.

풍력터빈의 발전량은 풍력터빈 업체에서 제공하는 풍력터빈의 성능곡선에 예측된 풍속 데이터를 대입하여 얻을 수 있는데, 본 고에서는 Fig. 4의 Bonus사의 1MW급 풍력터빈의 성능곡선을 사용하여 발전량을 계산하였다. 단 풍속이 4m/s 미만 또는 24 m/s 이상일 경우에는 발전을 하지 않는다.

Fig. 5는 앞 절에서 예측된 풍속을 풍력터빈 성능곡선 Fig. 4에 대입하여 얻어진 발전량으로 평균발전량은 정격용량의 약 20%인 0.19 MW로 계산되었다.

2.2 전기저장 장치

Fig. 6은 전기저장장치가 포함된 풍력발전시스템의 간략도로서, 바람의 영향으로 Fig. 5같이 발전량의 변동이 큰 풍력터빈으로부터 생산된 전기 에너지를 저장 혹은 저장된 전기에너지를 방출하여 일정한 출력으로 송/배전하기 위한 시스

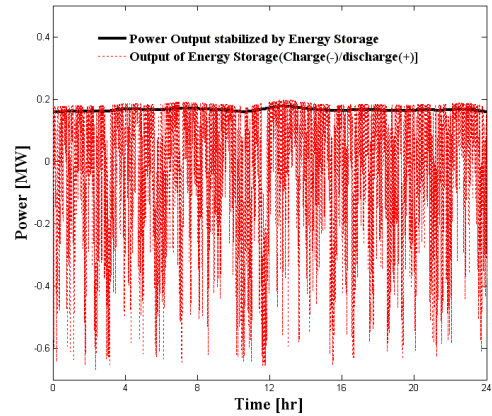


Fig. 7 Final wind power generation stabilized by energy storage system

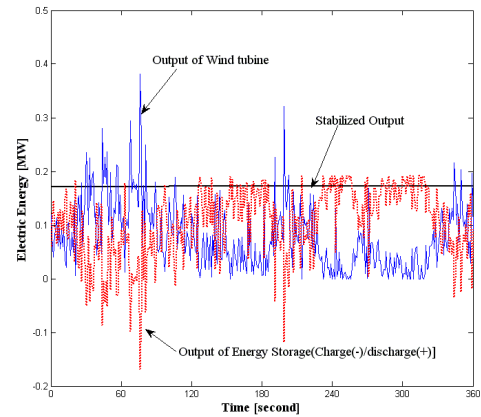


Fig. 8 Charge and discharge control of energy storage system.

템을 나타낸다.

Fig. 7은 Fig. 5의 풍력터빈의 출력을 전기저장장치를 사용하여 발전출력을 조절한 시뮬레이션 결과로서 평균출력은 178 kW이며 출력변화는 10%내외인 ± 15 kW로 제어하였고 전기저장장치의 순간최대 충전량은 약 0.7MW, 방전량은 약 0.2 MW 이다. 이때 평균출력이 풍력터빈의 평균 발전량인 190 kW보다 작은 이유는 전기저장장치의 충/방전 효율을 각각 90%와 80%의 값을 사용했기 때문이다.³⁾

Fig. 8은 Fig. 7의 전기저장장치의 충/방전과정을 자세히 나타낸 그림으로 풍력터빈의 발전량이 클 경우에는 전기저장장치에 저장하고(적색점선의 -값), 반대로 발전량이 작을 경우에는 방전(적색점선의 +값)되어 최종 출력이 일정한 값을 유지하게 된다.

2.3 5×1MW급 풍력발전 시스템

1MW급 풍력터빈 5기로 구성된 풍력발전시스템

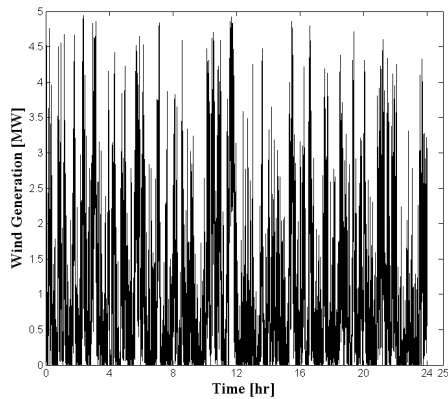


Fig. 9 Total power generation of 5 wind turbines of 1MW class

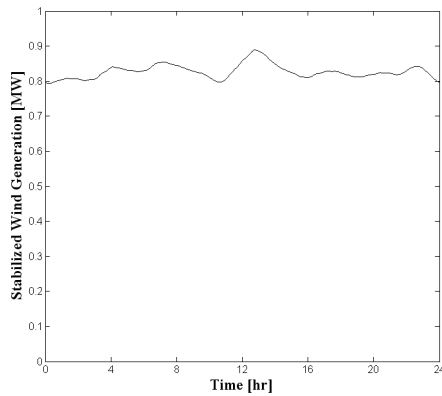


Fig. 10 Power output stabilized by energy storage system.

에 전기저장장치를 설치하여 풍력발전의 출력을 조절하는 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였고, 풍속은 2.1절의 방법을 사용하여 예측하였다. 이때 같은 지역, 같은 장소라도 풍속의 변화가 있기 때문에 Fig. 3에서 예측된 풍속, v 와 Weibull 분포를 가지는 난수로부터 얻어진 풍속, R_{wb} 가 식(4)의 조건식을 만족하면 풍속데이터로 채택하였고, 만족하지 않을 경우에는 만족할 때까지 반복하였다.

$$\exp\left(-\frac{(v - R_{wb})^2}{\sigma^2}\right) > R_n \quad (4)$$

Fig. 9는 예측된 풍속을 이용하여 얻어진 풍력발전 출력으로 최대 5MW에서 최소 0MW까지 변동이 심한 것을 알 수 있다. 또한 계통안정을 위하여 분산형 발전시스템이 22.9kW 송배전선로 직접 연결하기 위한 기준인 3 MW를 초과하는 비율이 약 7%에 이른다. 하지만 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 각각의 풍력터빈으로부터 생산된 전력을 전기저장장치를 사용하여 출력을 조절한 결과 평균 0.83 MW의 전력을 안정적으로 생산할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 풍력발전이 가지고 있는 문제점 중에 하나인 간헐성을 줄이는 대안으로 전기저장장치를 포함한 풍력발전시스템에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 전기저장장치를 사용할 경우 충/방전시 전력손실이 발생하는 단점이 있지만, 풍력발전의 출력변동을 10% 내외로 줄여 계통 안정화에 크게 기여할 수 있다.

또한 현재 분산형 발전시스템이 22.9kV 배전선로에 연결되었을 때 계통보호를 위하여 정격용량이 3MW이하 설비에 대해서만 허용하고 있다. 하지만 풍력발전의 경우 이용률이 20% 정도이기 때문에 전기저장장치를 풍력발전 시스템에 적용할 경우 현재 3MW에서 최대 15MW까지 정격용량을 늘려도 평균출력을 3MW 이내로 조절가능하며, 더욱이 출력변동을 10% 이내로 매우 안정적으로 조절 가능하다. 따라서 전기저장장치를 풍력이나 태양광과 같이 간헐성이 큰 신·재생에너지원에 적용할 경우 계통 안정성 확보와 전용선로에 연계하기 위한 송배전선로 설치비용을 줄일 수 있어, 친환경적인 신·재생에너지원의 보급에 도움이 될 것으로 사료된다.

References

- [1] Tanaka, K, Kurashima Y. and Tamakoshi, T, "Recent Sodium Sulfur Battery Application in Japan," ESA 2001 Annual Meeting in Chattanooga, Tennessee. April 26-27, 2001.
- [2] <http://www.kpx.or.kr/>
- [3] H. Asano, S. Bando and H. Watannado, "Methodology to Design the Capacity of a Microgrid," IEEE ICSSE, Paper No. 7, 2007.