

예측 알고리즘과 에너지 저장장치를 이용한 풍력발전단지 최적 출력 보상 방안

이한상*, 김갑용*, 정세용**, 박병철**, 한상철**, 장길수*

*고려대학교, **한국전력공사 전력연구원

The Optimal Compensation Scheme for Large-scale Windfarm using Forecasting Algorithm and Energy Storages

Hansang Lee*, Kabyong Kim*, Se-Yong Jung**, Byeong-Cheol Park**, Sang-Chul Han**, Gilsoo Jang*

*Korea University, **Korea Electric Power Research Institute

Abstract - As moving away from fossil fuel makes rapid progress, new paradigm has arisen in the power industry area. Developing alternative energy source is progressing actively, the proportion of renewable energy in electricity production is expected to be increased. Because the output of wind farm depends on wind characteristic, minimizing the output fluctuation is a key to keep the power system controllable and stable. Various compensation scheme for stabilizing the output of wind farm has been developed. Considering some requirements such as reaction velocity, controllability, scalability and applicability, energy storage system is one of the effective methods for spreading of renewable energy. In this paper, method of compensating method with forecasting algorithm was simulated, and then the results was analyzed.

1. 서 론

온실가스 저감을 목표로 하는 스마트그리드에 대한 관심이 높아짐에 따라, 국내 학계 및 산업계를 비롯하여 국가적 차원에서 스마트그리드 구축을 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 국내의 경우는 GDP 대비 온실가스 배출량이 OECD 국가 평균치의 1.6배 수준으로 상당 수준의 온실가스 감축이 필요한 상황이다.

온실가스 감축을 위하여 신재생에너지의 활용이 증가하고 있는데, 그 중 풍력발전은 발전효율과 경제성을 고려하였을 때 국내에 적합한 신재생발전원으로 판단되어 큰 관심을 받고 있다. 풍력발전단지의 규모는 점점 증가하고 있으며, 우리나라의 경우도 대규모 풍력발전단지가 건설되어 운전 중에 있고, 추가적인 건설이 계획되어 있다.

하지만 풍력발전은 출력을 임의로 조절하기가 어려워 안정적인 출력을 유지하기 어려운 측면이 있다. 따라서 규모가 큰 풍력발전단지를 계통에 연계하기 위하여 많은 문제를 해결해야 한다. 풍력발전의 연계로 인하여 유발되는 문제는 근본적으로 풍력발전 출력의 간헐성에 있기 때문에, 풍력발전의 출력을 안정화 할 수 있는 기술이 개발될수록 풍력발전의 보급에 유리할 것이다. 출력변동을 제어하기 위한 방안은 다각도로 연구되고 있으며, 그 하나의 방안으로 에너지 저장장치를 활용한 기술이 있다.

본 논문에서 연구의 대상으로 삼은 플라이휠은 회전체의 회전관성을 이용하여 기계적 에너지로 에너지를 저장하는 저장장치로, 특히 회전축 베어링에서 마찰에 의한 열적 손실을 없애기 위하여 초전도 베어링을 적용한 장치이다. 이것은 속응성이 높고, 저장 효율이 매우 높다는 장점을 가지고 있다. 전기적 특성 측면에서, SFES (Superconductor Flywheel Energy Storage)는 회전체의 설계 형태에 따라 같은 질량에 대한 회전질량을 크게 할 수 있기 때문에, 높은 저장용량을 구현할 수 있다는 장점이 있는 반면, 기기에서 자기적 커플링에서 발생하는 손실을 없애기 위하여 로터에 영구자석을 사용한 기기를 사용하기 때문에 순시 출력이 높지 않다는 단점을 가지고 있다[1].

2. 행원 풍력발전단지

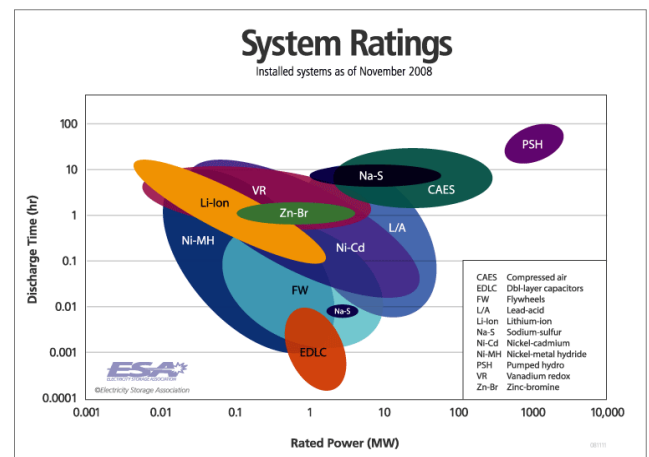
제주 지역의 행원 풍력발전단지는 총 15기의 풍력발전기로 구성된 9.795kW 용량의 발전단지이다. 국내의 경우, 제주의 풍황이 좋기 때문에 제주지역에 상대적으로 많은 풍력발전단지가 설치되어 있지만, 실제적으로 지속적으로 높은 풍속이 유지되지 못하여 그림 1처럼 발전량의 변동이 매우 크게 나타난다. 계통 운영자의 입장에서 이러한 풍력발전단지의 출력 변동은 안정적 운영을 어렵게 만들고, 이로 인한 국부적인 전압 문제를 일으킬 수 있고, 특히 도서 지역같은 전기적 관성이 작은 지역에서는 주파수 문제를 야기시킬 수 있기 때문에, 에너지 저장장치를 이용한 출력 보상이 필요하다.



<그림 1> 제주 행원 풍력발전단지의 출력 변동

3. 출력보상

에너지 저장장치는 다양한 저장용량(MWh)과 순시출력(MW)에 따라 다양한 활용 범위를 가지고 있다. 물론, 각 형태의 저장장치가 전력시스템에서 에너지 저장장치를 필요로 하는 모든 활용 범위를 책임지는 것은 아니지만, 각 저장장치의 동작 특성에 기반을 둔 활용 범위를 특징지을 수 있다. 에너지 저장장치의 활용방안은 그림 2에서 볼 수 있는 저장장치별 순시용량과 방전시간에 따라 크게 에너지 관리, 예비력, 전력 품질 보상으로 나눌 수 있다[2].



<그림 2> 에너지 저장장치 활용 위치별 요구 용량 및 저장용량

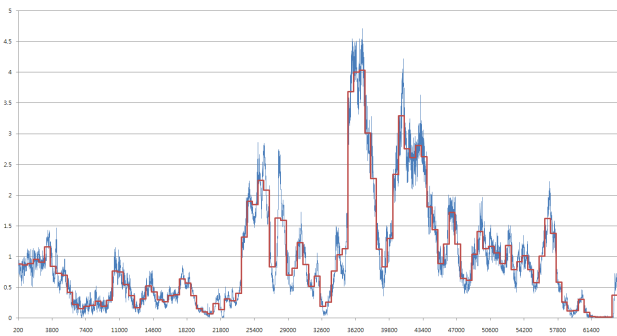
3.1 기존 출력 보상 방안

풍력단지의 출력변동을 보상하기 위하여 기존 연구에서는 BESS (Battery Energy Storage System)와 SFES를 활용한 하이브리드 보상 방안을 제시하였다. 이것은, 일반적으로 용량에 비해 값이 싼 BESS를 주 보상장치로 활용하고 속응성이 높은 SFES를 이용하여 미세 출력 변동을 제어하는 방식으로 두 저장장치 각각의 장점을 결합하여 보다 효과적으로 풍력발전의 출력 간헐성을 보상할 수 있는 풍력발전단지 출력 보상 방안이다. 하이브리드 보상 방안의 전제는 하루 동안 풍력발전단지의 출력을 일정하게 낼 수 있도록 한다는 데에 있기 때문에, 하루 동안

의 평균치를 저장장치의 충방전 레퍼런스로 하여 제어하도록 한다. 이로 인하여 산정된 BESS와 SFES의 순시용량과 저장용량은 표 1과 같이 계산되었다.

〈표 1〉 기존 보상 방안에서의 BESS와 SFES의 사양

분류	BESS	SFES
운전방안	대규모 변동에 대응	변동의 폭이 작고 빠른 변동에 대응
순시용량	3.302 MW	0.922 MW
저장용량	5.172 MWh	81.66 kWh

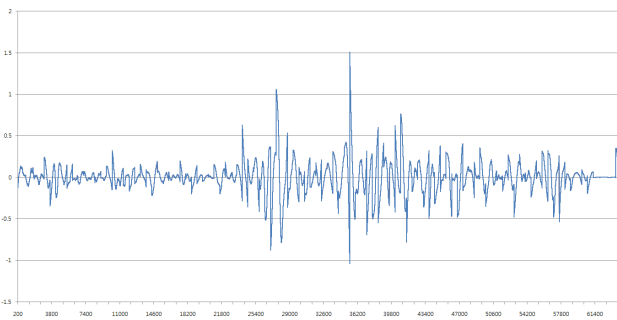


〈그림 3〉 예측 알고리즘 결과의 출력 변동 추종

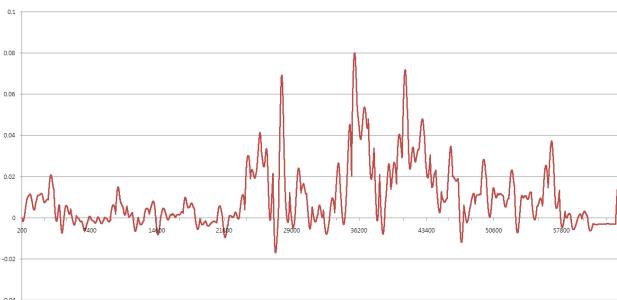
3.2 예측 알고리즘을 이용한 하이브리드 출력 보상 방안

예측 알고리즘을 이용하여 풍력단지의 10분 출력의 평균치를 예측하여 저장장치의 레퍼런스를 갱신하여 풍력단지의 출력을 보상하도록 제어하였다. 예측 알고리즘에 의한 10분 예측치는 그림 3에서 보는 바와 같이 풍력발전단지의 출력을 추종하는 형태의 결과를 나타낸다.

풍력단지의 출력과 예측 알고리즘의 차이를 보상하도록 충방전을 제어함으로써 예측 알고리즘 결과에 해당하는 출력으로 계통에 연계될 수 있도록 한다. 그림 4는 BESS의 순시출력을 나타낸 그래프이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 BESS의 출력은 방전 시 최대 1.507MW, 충전 시 최대 1.040MW로 나타남을 알 수 있다. 그림 5는 해당 출력을 넘으로 인해 BESS 내부의 에너지 누적 추이를 나타낸다. 모의 시작 시점을 '0'으로 기준하였을 때, 최대 80.07kWh, 최소 -16.97kWh로 모의되었고, 이에 따라 BESS는 최소 97.04kWh 이상의 저장용량 사양이 요구된다.

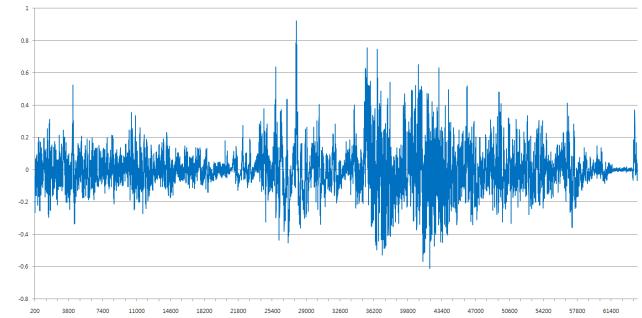


〈그림 4〉 BESS의 순시출력(MW)

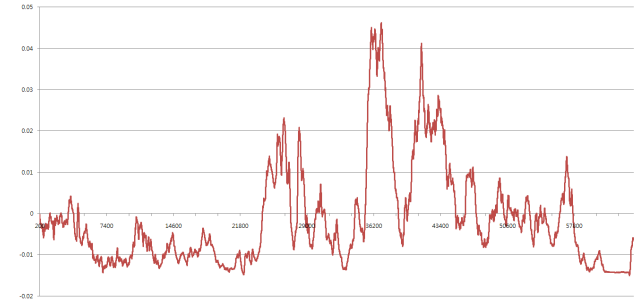


〈그림 5〉 BESS의 에너지 누적(MWh)

그림 6은 SFES의 높은 속응성에 기반하여, BESS의 보상의 결과로 남은 미세 출력 차이를 보상하기 위한 SFES의 순시출력을 나타낸 그래프이다. SFES의 출력은 방전 시 최대 0.922MW, 충전 시 최대 0.610MW로 나타남을 알 수 있다. 그림 7은 SFES의 에너지 누적 추이를 나타내는데, 최대 46.18kWh, 최소 -15.07kWh로 모의되었고, 이에 따라 SFES는 최소 61.25kWh 이상의 저장용량 사양이 요구됨을 알 수 있다. SFES의 경우, 전동기의 감속에서 발생하는 관성에너지의 감소량 만큼을 출력으로 내도록 하는 방식을 채용하기 때문에, 일정 이상의 역기전력을 확보하여야 하고, 이에 따라 최대 회전속도의 50%이하(총 충전량의 25%이하)에서는 운전하지 않도록 제어하고 있다. 따라서 61.25kWh의 실제 에너지 활용량을 확보하기 위하여 81.66kWh 이상의 저장용량을 가진 사양이 확보되어야 한다.



〈그림 6〉 SFES의 순시출력(MW)



〈그림 7〉 SFES의 에너지 누적(MWh)

〈표 2〉 분석에 사용된 BESS와 SFES의 사양

분류	BESS	SFES
운전방안	대규모 변동에 대응	변동의 폭이 작고 빠른 변동에 대응
순시용량	1.507 MW	0.922 MW
저장용량	97.04 kWh	81.66 kWh

4. 결 론

행원풍력발전단지의 2009년 4월 13일 출력을 측정된 데이터를 바탕으로 예측 알고리즘과 BESS, SFES를 이용하여 보다 신뢰성 있는 전력공급이 가능하도록 출력 변동 없이 계통에 급전할 수 있는 방안을 제안하였다. 예측 알고리즘을 이용하여 풍력단지의 출력을 10분 단위로 추종하여 매 10분 단위로 출력량을 결정하고, 해당 출력량을 유지하기 위하여 BESS와 SFES를 이용하여 출력을 제어하였다. 그 결과 기존 보상방안에 비해 BESS의 용량은 2% 수준으로 감소되었음을 알 수 있고, 순시용량 또한 50% 수준으로 감소하여 전보상에 필요한 사양이 크게 개선되었음을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이한상, '에너지 저장장치 비교연구를 통한 초전도 플라이휠의 최적 활용 방안 연구', 대한전기학회 하계학술대회, 2009
- [2] Paul Denholm, Erik Ela, Brendan Kirby, and Michael Milligan, "The Role of Energy Storage With Renewable Electricity Generation", NREL, 2010