

Study on Calculation of Dynamic Penetration Limit of WTG and Applications of BESS in Power Systems

풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 산정 및 BESS 적용방안 분석

Han Na Gwon^{††}, Woo Yeong Choi, Kyugn Soo Kook[†]

SGRC, Dept. of Electrical Engineering, Chonbuk National University, 567 Baekje-daero Deokjin-gu, Jeonju-city, Korea.

[†] kskook@jbnu.ac.kr; ^{††} canna08@jbnu.ac.kr

Abstract

풍력발전기와 같은 신재생에너지원은 기존 동기화력발전기의 특성과 매우 다르기 때문에, 상정고장과 같은 가혹한 상황에서는 주파수 변동에 신속히 대응하지 못하므로 주파수응답성을 저하시킬 수 밖에 없다. 특히, 풍력발전의 수용률이 높은 상황에서 상정고장이 발생한 경우, 전력계통에 안정화를 위해서 풍력발전의 수용이 더욱 제한될 가능성이 잠재되어 있다. 이를 위해, 본 논문에서는 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계를 산정하는 절차를 구현하고, 산출된 결과로부터 풍력발전의 동적 수용한계를 증대시키기 위한 BESS의 적용방안을 모색하였다.

Since the characteristics of Renewable Energy Sources like wind turbine generators are very different from those of existing thermal power generators and their response to the sudden change of the frequency are not as good as that from thermal power generators. Especially when the penetration level of the wind power generation is substantially high, the output from the WTG would be possibly limited to keep the stability of power systems. For this, this paper implements the process for calculating the dynamic penetration limit of WTG and analyze the potential application of BESS for increasing the dynamic penetration limit of WTG.

Keywords: Wind Power Dynamic Penetration Limit, Battery Energy Storage System (BESS), Frequency Stability, PSS/E, Dynamic Modelling

I. INTRODUCTION

에너지는 국가경제를 뒷받침하는데 불가결한 것이며 국가의 안전보장과 깊이 결부되어 있어 에너지의 안정적이고도 합리적인 공급이 중요하다 [1]. 이를 위해, 미국은 신재생에너지 개발을 통한 기후변화 대처 및 에너지 독립을 추진하고 있으며 [2], 그 외 많은 국가들도 에너지 독립을 위해 신재생에너지 분야에 아낌없는 투자와 지원을 하고 있다. 국내에서도 높은 에너지 수입의 의존성과 교토의정서 체결에 따른 이산화탄소 배출량 감축 의무사항에 대한 문제들을 해결하고자 “제6차 전력수급 기본계획”과 “ESS (Energy Storage System) 보급 활성화 정책 방향”을 통해 Fig. 1과 같이 신재생에너지 및 ESS의 보급계획을 발표하였다 [3][4]. 그러나 신재생에너지원의 경우, 기존 동기화력발전기들과 그 특성이 매우 다르고 기상여건에 따라 전력생산이 불규칙하기 때문에 전력공급의 안정성을 유지하면서 신재생 에너지원으로부터 생산된 전력을 전력계통에 수용하는 데는 한계가 존재한다. 특히 신재생에너지원의 수용률이 높은 상황에서 전력계통에 상정고장이 발생한 경우, 계통의 안정화를 위해 신재생에너지원의 수용이 더욱 제한될 가능성이 잠재되어 있다. 이를 위해 본 논문에서는 신재생에너지원 중 풍력발전기를 대상으로 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계를 정의하고 이를 산정할 수 있는 절차를 구현하였다. 또한, 유효전력 제어성능이 우수한 Battery

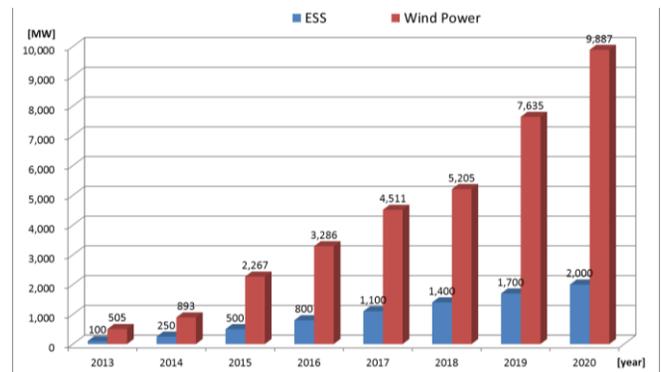


Fig.1. 국내 ESS 보급계획 및 풍력발전 설비계획

Energy Storage System (BESS)를 이용하여 풍력발전의 동적 수용한계를 증대시키기 위한 적용방안을 모색하였다.

II. 풍력발전의 전력계통 동적수용한계

A. 풍력발전의 전력계통 수용한계 정의 및 제한요소

풍력발전기는 기존 동기화력발전기의 특성과 달리 조속기가 없고 관성이 적어 주파수 변동에 신속히 대응하지 못하므로 Fig. 2와 같이 기존 동기화력발전기의 과도 시 주파수 응답 특성에 비해 성능이 저하될 수 밖에 없다. 이를 위해, 풍력발전이 연계된 전력계통에서 풍력

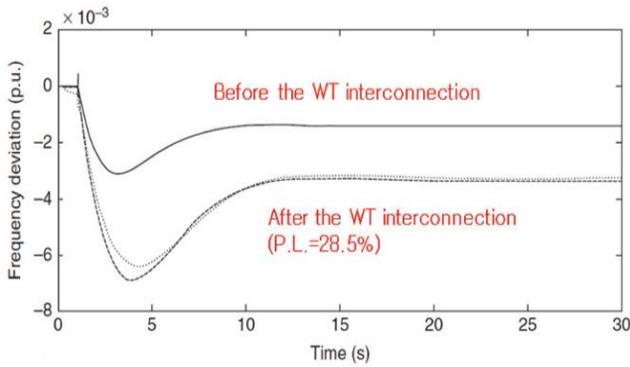


Fig. 2. 풍력발전 수용률 증가에 따른 주파수 응답

발전의 수용한계는 기존 발전기들의 최소발전출력, 증감발량 및 예비력, 그리고 전력계통 제어성능으로 인한 동적 수용한계 등의 요소에 의해 복합적으로 결정된다.

특히, 풍력발전기가 기존 동기화력발전기를 대체하여 전력계통의 풍력발전 수용률이 높은 상황에서 전력계통에 상정고장이 발생할 경우, 계통에 연계된 동기화력발전기들의 주파수 제어 기여가 낮을 수 밖에 없다. 따라서 발전계획 시, 계통 운영자들이 이러한 상황을 대비하여 풍력발전의 수용을 더욱 제한시킬 가능성이 잠재되어 있다. 이에 따라 본 논문에서는 전력계통에 상정고장이 발생하였을 때, 최소과도주파수 기준을 만족하면서 수용할 수 있는 풍력발전 비율의 최댓값을 풍력발전의 동적 수용한계로 정의하였다 [5].

B. 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 산정 절차

본 절에서는 Fig. 3과 같이 Power System Simulator for Engineering (PSS/E)의 Application Program Interface (API)인 Python 프로그램을 사용하여 풍력발전과 BESS가 연계된 전력계통에서 풍력발전의 동적 수용한계 산정하는 방법을 구현하였다 [6]. 구현된 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 산정방법은 전력계통에 풍력발전의 출력이 없는 것로부터 시작하여 PSS/E의 동적 모의해석을 통해 최소과도주파수 값을 확인하여 최소과도주파수가 주파수 기준치를 만족하면서, 풍력발전의 출력 값을 단위용량만큼 증가시키고, 이에 해당되는 만큼의 발전량을 기존 화력발전기들의 출력 값에서 감소시킴으로써 풍력발전을 최대 수용할 수 있는 최댓값을 풍력발전의 동적수용한계로 결정한다.

III. 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 증대를 위한 BESS 적용방안

A. 전력망연계형 BESS의 모델링 및 제어방안

본 절에서는 계통해석프로그램인 PSS/E에서 제공하는 Electrical Power Research Institute (EPRI)사의 CBEST 모델을 기반으로 한 Battery Energy Storage System (BESS)를 사용하여 Fig. 4와 같이 모델링 하였다 [7].

여기서, 주파수 응답을 위한 BESS의 출력 요구량은 식 (1)과 같이 계통의 주파수 편차와 제어전략에 따른 제어이득 값을 통해 산정된다.

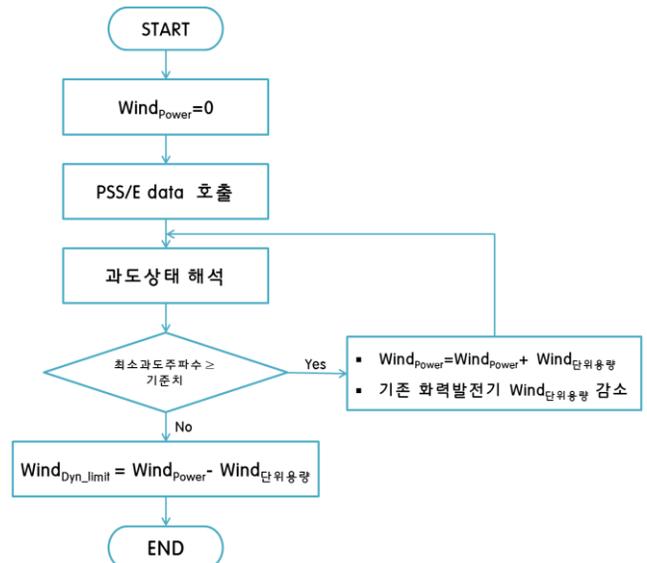


Fig. 3. 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 산정절차

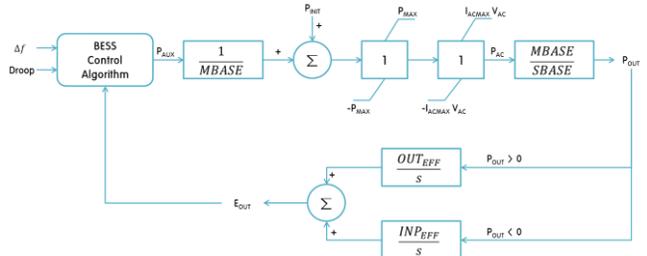


Fig. 4. 전력망연계형 BESS의 모델링 및 제어전략

$$P_{BESS} = P_{AUX} = K \times \Delta f \tag{1}$$

식 (1)에서 BESS의 제어이득 값인 K 는 계통의 주파수 편차를 최소화하는데 필요한 유효전력 보상을 결정하기 위한 값으로써 다음 식 (2)와 같이 기존 발전원들이 수행하는 드롭(droop) 특성을 통한 제어 과정을 분석하여 식 (3)과 같이 계산될 수 있다.

$$SD = \frac{\Delta f / 60}{\Delta P / P_{rated}}, \quad \Delta P = \frac{Capacity_{BESS}}{SD \times 60} \times \Delta f \tag{2}$$

$$K = \frac{Capacity_{BESS}}{SD \times 60} \tag{3}$$

계산된 제어이득 K 는 식 (3)과 같이 속도조정률 (speed droop: SD)의 값에 영향을 받으며, 속도조정률 (speed droop: SD)의 값이 작을수록 계통의 주파수 편차에 민감하게 반응하여 많은 제어 요구량이 계산된다.

A. BESS를 이용한 전력계통 주파수응답 성능 개선 효과

본 절에서는 Fig. 5와 같이 300 MW의 풍력발전기가 연계된 전력계통에서 BESS의 용량에 따라 기존 화력발전기 1기 탈락에 대한 주파수응답 성능이 얼마나 효과적으로 개선될 수 있는지에 대한 가능성을 분석하였다.

여기서, BESS의 용량은 풍력발전용량의 5%, 10%에 해당되는 양이다. 그 결과, BESS의 용량이 클수록 전력

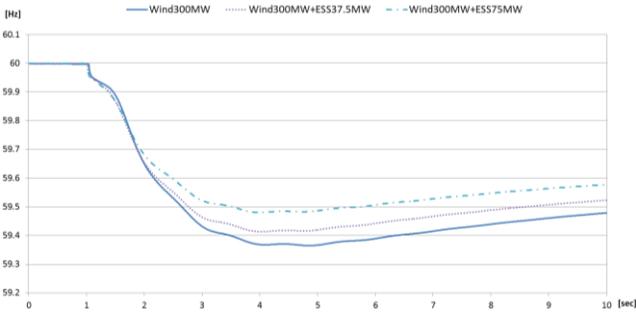


Fig. 5. BESS 용량에 따른 주파수응답 성능 개선효과

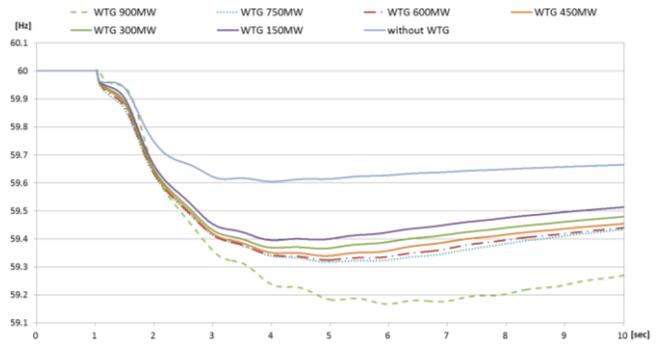


Fig. 7. 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 산정 결과

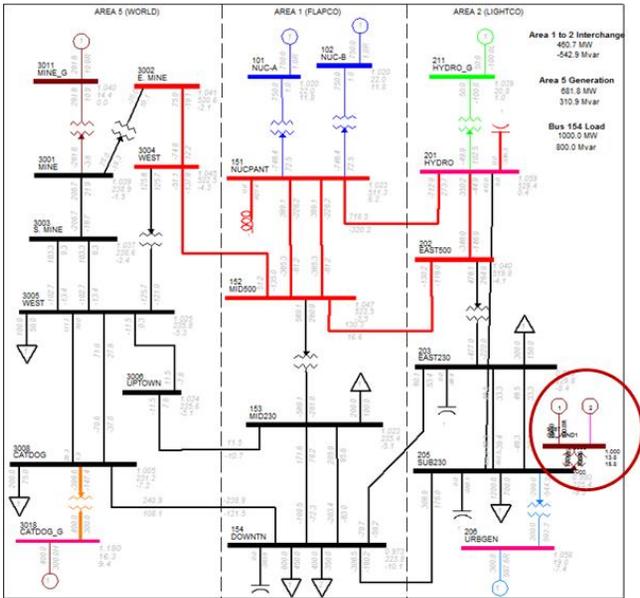


Fig. 6. WTG와 BESS가 연계된 테스트 계통

계통에서 BESS의 유효전력 보상에 대한 기여가 크기 때문에 최소과도주파수가 상승하고, 최소과도 주파수에 도달하는 시간이 짧아져 전력계통의 과도 주파수응답 성능이 개선됨을 Fig. 6을 통해서 확인할 수 있다.

IV. 사례연구

본 사례연구에서는 Fig. 6과 같이 PSS/E에서 제공하는 테스트 계통을 사용하여 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계를 산정하고, 이를 증대시키기 위한 BESS의 적용방안을 분석하였다. 여기서, 테스트 계통의 총 발전량은 3,252 MW이고, 계통 부하는 3,200 MW이며, 풍력발전기와 BESS는 205번 모선에 연계되어 있다.

Fig. 7은 본 논문에서 구현한 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 산정절차를 통해 얻은 결과이다. 여기서 최소과도주파수 한계치는 국내 UFR 1단계 동작 설정치인 59 Hz에서 여유를 둔 59.3 Hz로 설정하였다. 그 결과, 최소과도주파수 한계치는 만족하면서 풍력발전을 최대 수용할 수 있는 동적 수용한계는 750 MW임을 Fig. 8을 통해 확인할 수 있다.

Fig. 8은 BESS의 드롭(drop) 제어에 따라 본 논문에서 산출한 풍력발전의 동적 수용한계 값인 750 MW로부

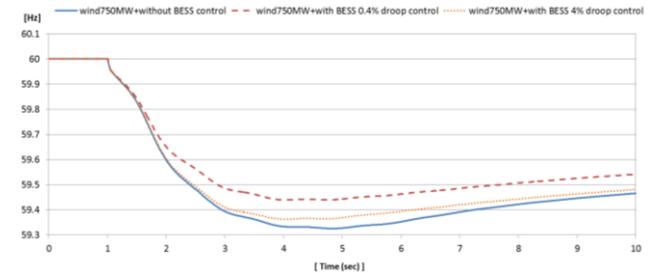


Fig. 8. BESS 드롭(drop) 제어에 따른 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 증대효과

터 얼마나 증대시킬 수 있는지의 가능성을 분석한 결과이다. 이때, BESS의 용량은 54 MW이며, BESS의 속도조정률(speed droop: SD) 값을 기존 화력발전원과 동일한 수준인 4%와 BESS의 속응성을 고려한 0.4%로 다르게 적용하였다. 그 결과, BESS의 주파수제어에 의해 상정고장에 대한 전력계통의 주파수응답 성능이 개선될 수 있음을 Fig. 8을 통해 확인할 수 있으며, 동일한 BESS 용량에서도 제어전략에 따라 그 효과가 다를 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계를 산정하기 위해 풍력발전의 동적 수용한계를 정의하고 이를 산정하는 절차를 PSS/E의 API 기반인 Python 프로그램을 사용하여 구현하였다. 또한 구현한 프로그램을 풍력발전과 BESS가 연계된 모의해석용 전력계통에 적용하여 최소과도주파수 제한으로 인한 풍력발전의 전력계통 동적수용 한계치를 산출하고, 이를 증대시키기 위한 BESS의 제어방안을 사례연구를 통해 모색하였다. 그 결과, 동일한 BESS 용량에서도 BESS의 제어전략에 따라 제어효과가 상이할 수 있음을 확인하였다.

향후, 본 논문의 결과는 풍력발전의 동적 수용한계 증대를 위한 BESS의 효과적인 제어전략을 수립하는데 적용할 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2014년 선정 기초 연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. [과제번호: R14XA02-43]

This research was supported by Korea Electric Power Corporation (KEPCO) through Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. [grant number : R14XA02-43]

REFERENCES

- [1] 네이버 지식백과, “환경경제용어사전 - <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2063652&cid=50305&categoryId=50305>”, 2005
- [2] 네이버 지식백과, “미국개황 - <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=956982&cid=43938&categoryId=43958>”, 2009.
- [3] 산업통상자원부, “제6차 전력수급기본계획” 2013.02
- [4] 산업통상자원부, “ESS 보급 활성화 정책방향 - 스마트그리드 (ESS 등)를 활용한 수요관리 방안”, 2013.09
- [5] 권한나, 최우영, 임현옥, 국경수, “BESS를 이용한 풍력발전의 전력계통 동적 수용한계 증대효과 분석”, 2015년도 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, 2015.04.17~18
- [6] Siemens PTI, “PSS/E 32.0 Application Program Interface”, 2009.06
- [7] Siemens PTI, “PSS/E 32.0 Model Library”, 2009.06