

제주지역 계통운전조건을 고려한 풍력발전단지용 최소 BESS 용량 산정

Estimation of minimum BESS capacity for regulating the output of wind farms considering power grid operating condition in Jeju Island

진경민* · 김승현** · 김일환***†

Jin Kyung-Min*, Kim Seong Hyun** and Kim Eel-Hwan***†

(Submit date : 2013. 5. 6., Judgment date : 2013년 5. 13., Publication decide date : 2013. 8. 8.)

Abstract : This paper presents the estimation of minimum BESS capacity for regulating the output of wind farms considering power grid operating condition in Jeju Island. To analyze the characteristics of wind farm outputs with a BESS, the real data of wind farms, Sung-San, Sam-dal and Hang-Won wind farm, located in the eastern part of Jeju island is considered. The wind farms are connected to Sung-san substation to transfer the electric power to Jeju power grid. Consequently, at PCC(Point of Common Coupling), it can see a huge wind farm connected to the substation and thus it can be expected that the smoothing effect is affected by not only the different wind speeds for each area but also the different mechanical inertia of wind turbines. In this paper, two kinds of simulation have been carried out. One is to analyze the real data of wind farm outputs during a winter season, and the other is to connect a virtual BESS to eliminate the unintended generating power changes by the uncontrolled wind farm outputs as shown in the former data. In the conclusion, two kinds of simulation results show that BESS installed in the substation is more efficient than each wind farms with BESS, respectively.

Key Words : 풍력발전단지(Wind Farm), 배터리 에너지 저장장치(BESS), 평활화 효과(Smoothing effect), 배터리충전상태(SOC)

1. 서 론

최근 전 세계적으로 풍력발전단지에 에너지 저장 장치를 구축하여 불규칙하고 예측하기

어려운 풍력 출력에 대해서 안정적이고 예측 가능한 전원으로 전환시키려는 연구와 투자가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 제주도는 제주지역 전력계통 용량에 비해서 풍력 출력 점

***† 김일환(교신저자) : 제주대학교 전기공학과
E-mail : ehkim@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3674
*진경민 : 포스코ICT 스마트그리드사업단
**김승현 : 제주대학교 전기공학과

***† Kim Eel-Hwan(corresponding author) : Department of Electrical Engineering, Jeju National University.
E-mail : ehkim@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3674
*Jin Kyung-Min : Smart grid business department, POSCO ICT
**Kim Seong Hyun : Department of Electrical Engineering, Jeju National University.

유율이 매년 증가하고 있기 때문에 이에 대한 대비책이 요구되고 있다. 그 대책 중에서는 풍력발전단지에 BESS 를 설치하여 출력제어를 통한 계통안정화를 이루도록 하는 방안이 가장 현실적인 대안으로 부각되고 있다.¹⁾ 하지만 BESS 설비의 가격이 아직은 풍력발전단지에 설치하여 상업운전을 하기에는 고가이기 때문에 경제성 확보 차원에서는 아직 취약한 상황이다. 따라서 풍력발전단지에 설치하는 BESS 용량 산정 시 용량을 최소화하는 일은 발전 사업자뿐만 아니라 계통을 운영해야 하는 계통 운영자에게도 매우 중요한 일임으로 신중하게 용량을 산정할 필요가 있다.²⁾

본 논문에서는 같은 변전소에 연결된 풍력발전단지를 전력계통의 입장에서 하나의 풍력발전단지로 가정하였을 경우 출력의 평활화를 고려한 BESS의 합리적인 용량 산정에 대하여 고려하였다. 이러한 용량 산정을 위하여 제주도 동부에 위치한 성산변전소에 연결된 세 풍력발전단지인 성산, 삼달, 행원 풍력발전단지의 2012년 12월부터 2013년 2월까지의 출력 데이터를 기반으로 하여 각 풍력발전단지가 정상운전 되어 질 때와 내·외부의 사고에 의하여 단지가 탈락되었을 때에 대하여 분석하였다.

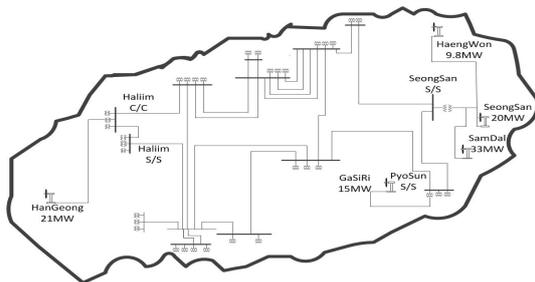


Fig. 1 Location of wind farms and substations in Jeju

논문에 내용은 BESS의 기본 모델링과 제어방식, 운행되어지는 풍력발전단지에 출력

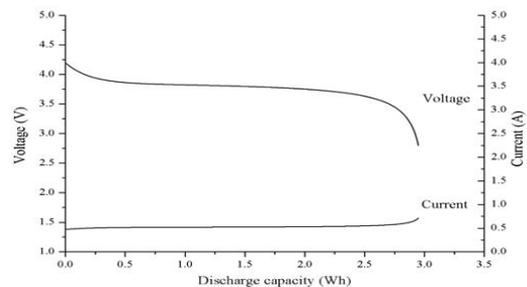
특성 분석, 시뮬레이션을 통한 BESS의 풍력발전단지의 출력 완화 정도 분석 및 단지 탈락시 계통에 미치는 영향 순으로 기술 하였고 이를 토대로 결론을 도출하였다. 시뮬레이션은 PSCAD/EMTDC에 의하여 시행되어졌고 Matlab을 이용하여 그 결과 값을 분석 하였다.

2. BESS modeling & control

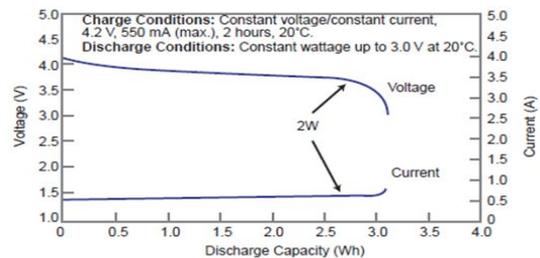
시뮬레이션에 사용되어진 BESS는 이상적인 직류 전압원을 사용하지 않고 실제 배터리와 비슷한 동특성을 보이기 위하여 비선형 배터리 모델을 이용하여 만들었다.

2.1 BESS modeling

시뮬레이션을 위한 가상 배터리 모델은 Shepherd nonlinear battery model을 이용하여 만들었고 파나소닉사의 CGR17500의 데이터를 기반으로 하였다.³⁾⁴⁾ 그림 2는 PSCAD에서 모델링



(a) Discharging characteristic of the battery model



(b) Discharging characteristic of CGR17500

Fig. 2 Discharging curves of batteries

되어진 배터리와 모델링에 기초가 된 실제 배터리의 방전 곡선을 보여주고 있으며 두 곡선이 유사한 방전 특성을 보여준다는 것을 알 수 있다. 또한, 사용되어진 배터리의 최대 방전율(C-rate)은 10C로 제한하였다.

Table. 1 CGR 17500 specifications

Nominal Voltage		3.6V
Standard Capacity		830mAh
Dimensions	Diameter	16.9 +0/-0.7mm
	Height	49.6 +0/-1.0mm
	Weight	Apporx. 25g

2.2 BESS control

제주 전력계통이 HVDC로 본토와 연결되어 있지 않을 경우 주파수 운전기준 점은 남제주 화력발전소의 기력 3,4호기가 된다. 이 두발전기의 최대 증·감발 출력 값을 기준으로 하면 제주도내의 분산전원의 감발률은 분당 10MW를 초과하여서는 안 된다.⁵⁾ 따라서 풍력발전단지의 출력이 위와 같은 기준을 넘지 않는 범위를 유지하도록 BESS를 제어하여야 한다.

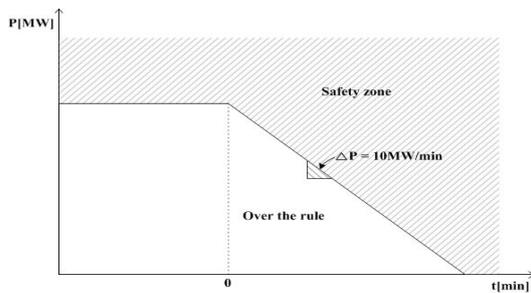


Fig. 3 Range of the safety output

현재 대부분의 풍력발전단지는 역률을 1로 맞추어 운전되어지므로 단지의 유효분 출력에 변동만을 기준으로 하여 출력 감발률이 기준 값보다 커질 경우 저장해둔 에너지를 보내어 합성출력이 기준 값보다 작아지도록 그림 4와

같이 BESS의 제어 알고리즘을 설계하였다.

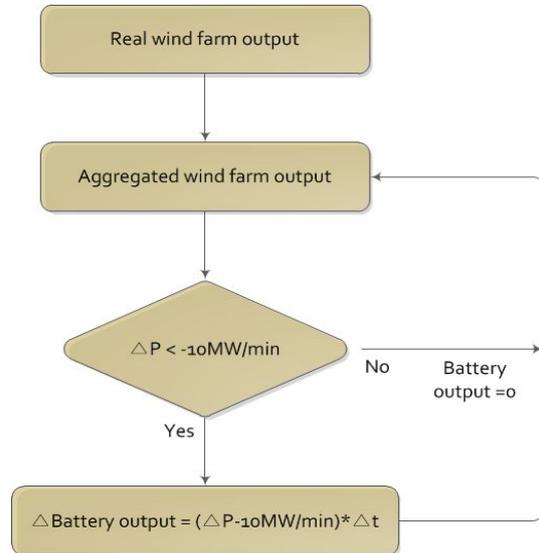


Fig. 4 Block diagram for the BESS control

3. Wind farms

3.1 개별 풍력단지 출력 분석

본 논문에서는 제주 동부지역의 성산 변전소에 연계되어 운전되어지고 있는 성산, 삼달, 행원 풍력발전단지의 2012년 12월에서 2013년 2월까지 발전출력의 2초 데이터를 기반으로 하여 출력을 분석 하였다. 표 2는 세 풍력발전단지에 3개월 출력데이터 중 분당 10MW 이상의 출력 변동이 보였었던 횟수를 보여준다.

Table. 2 Data of decrease rate above reference in wind farms

	10MW/min 이상 출력 감발 횟수		
	2012.12	2013.01	2013.02
성산단지	0	0	0
삼달단지	144	272	15
행원단지	0	0	0

위의 표에서, 성산과 행원 풍력발전단지의 경우 기준 이상의 출력 변동이 발생하지 않았

었지만 삼달풍력발전단지의 경우 때때로 기준 이상의 출력 변동을 일으켰었다는 것을 볼 수 있다.

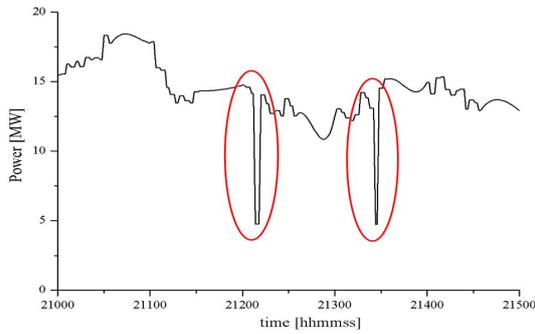


Fig. 5 The partial output power of a wind farm

그림 5는 분석되어진 데이터 중 2월1일 삼달 풍력발전단지의 02시10분부터 02시15분까지의 출력 데이터이다. 표 3은 그림 5의 데이터 값을 분석한 결과로써, 실제 운전되어지는 풍력발전단지의 출력이 때때로 기준 값을 이상에 변동을 나타내었다는 것을 보여준다.

Table. 3 The section over the rule for a wind farm

발생시간 [hh:mm:ss]	종료시간 [hh:mm:ss]	초기출력 [MW]	최저출력 [MW]
02:11:14	02:12:14	15.83	4.77
02:13:30	02:13:44	14.23	4.76

3.2 평활화에 의한 합성출력

3개의 풍력발전단지의 출력은 풍력발전기들의 재원이 각각 다르고 입력으로 받게 되는 바람 역시 모두 제각각이기 때문에 그 출력에 변동 주기가 모두 다르다. 하지만 전력계통의 입장에서 보면 3단지의 출력은 성산 변전소에서 합산 되어 나오는 하나의 분선전원의 출력으로 볼 수 있다. 즉, 3단지의 출력은 제각기

변동 특성을 갖지만 그 출력을 합산할 경우 오히려 그 출력의 변동이 부드러워지는 평활화효과(smoothing effect)를 보이게 될 수 있다는 것을 예측 할 수 있다.

그림 6과 표 4는 그림 5와 같은 시간동안 세 풍력발전단지의 합성 출력을 분석한 것이다.

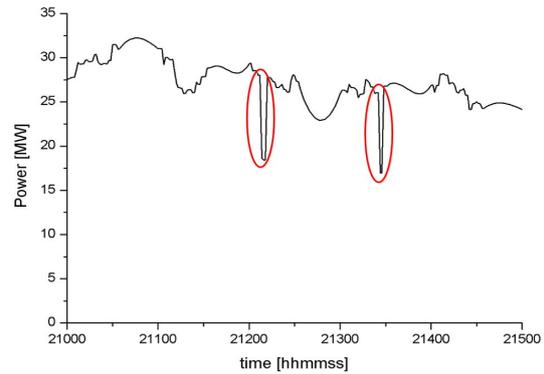


Fig. 6 The output power of total wind farms

Table. 4 The section over the rule for wind farms

발생시간 [hh:mm:ss]	종료시간 [hh:mm:ss]	초기출력 [MW]	최저출력 [MW]
02:11:16	02:12:16	29.7	18.42
02:13:30	02:13:44	16.98	10.46

위의 표 4를 보면, 3개의 단지의 합산 출력은 표 3과 비교 시 6~11MW 정도 증가하였으나 출력에 변동량은 크게 변하지 않거나 오히려 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 표 1이 한 개의 단지에서의 출력이었음을 감안한다면 다른 두 개의 단지에서는 그 출력의 변동이 거의 없었음을 알 수 있다.

즉, 3개의 단지에 각각 BESS를 설치하는 것보다 3개의 단지가 연결되어 지는 하나의 변전소에 BESS를 설치할 경우 보다 효율적으로 BESS를 사용할 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

4. Simulation

부분이다.

4.1 시뮬레이션 조건

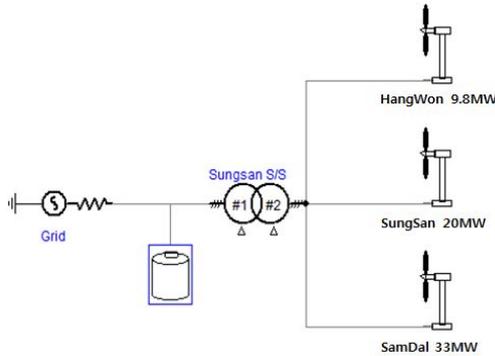


Fig. 7 Simple diagram for the simulation

그림 7은 PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션 조건을 보여주고 있다. 각각의 단지는 병렬구성으로 성산변전소에 연결되어 있고 전력계통은 이상적인 전압원으로 가정하여 3단지의 출력은 동일 발생하였던 유효전력을 그대로 출력하도록 만들었다. 발전단지가 정격 출력도중 탈락 하였을 시 BESS는 단지의 정격출력을 모두 보상할 수 있어야 하고 가장 큰 용량의 단지인 삼달풍력발전단지의 출력까지 보상할 수 있어야 함으로, 변전소에 연결된 BESS는 위에서 모델링된 배터리를 확장하여 삼달 풍력단지 용량의 10%인 3.3MWh(전체 단지용량의 약 5.2%)로 용량을 산정하였다.

4.2 출력 안정화

그림 8은 2012년 2월1일 3개의 풍력발전단지의 합성 출력을 보여준다. 이 그래프에 데이터를 이용하여 1분내 10MW 이상 출력이 떨어졌던 구간을 조사한 결과 하루 동안 총 50 구간에서 규정을 넘는 출력 변동이 있었다는 것을 알 수 있었고 표 5는 그 일

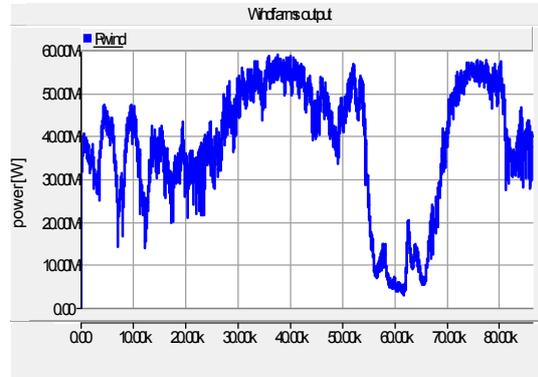


Fig. 8 The real power from the 3 wind farms

Table. 5 The part of the analysis data

발생시간 [hh:mm:ss]	종료시간 [hh:mm:ss]	초기출력 [MW]	최저출력 [MW]
04:25:08	04:26:08	36.66893	26.60665
04:53:08	04:53:56	30.44581	20.26774
05:39:04	05:39:18	31.53782	20.30544
05:57:54	05:58:06	35.25432	24.20806
06:16:00	06:16:34	33.98569	22.61627

그림 9는 그림 8과 동일 출력 데이터에 제안된 BESS를 적용하였을 때의 출력 그래프이다. 배터리의 SOC(State of Charge)는 충전 비율을 조정하여 0.7~0.8 사이를 유지하도록 하였고, 합성 풍력발전단지의 출력이 규정 이상의 변동을 일으킬 경우 BESS에서 에너지를 흡수하였다가 후에 방전하는 것을 볼 수 있다. 그림 10은 그림 9의 일부 출력구간을 확대한 것인데 단지의 출력변동을 BESS에서 흡수하여 급격한 출력의 변동을 막아 주는 것을 볼 수 있다.

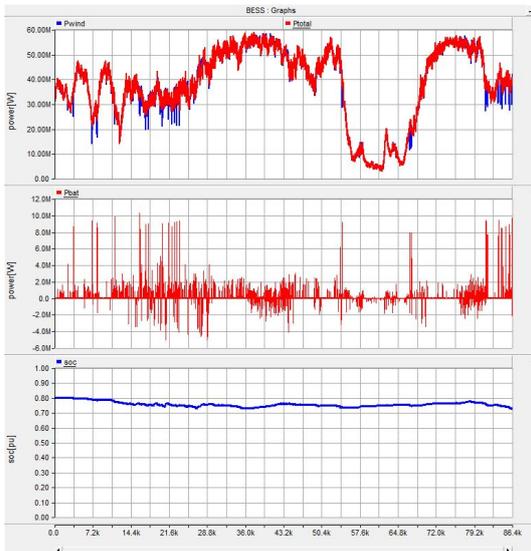


Fig. 9 Output data with BESS

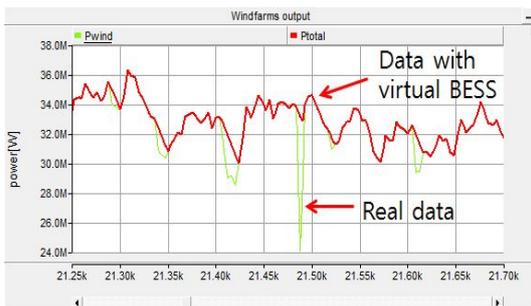


Fig. 10 Comparison with 2 output data

위와 같이 BESS를 적용하여 시뮬레이션 한 경우 출력 데이터는 모든 구간에서 규정 이상에 출력 변동을 보여주지 않았다.

4.3 풍력발전단지 탈락시

실제 풍력발전단지는 차단 풍속이상에 바람 혹은 낙뢰·지진·해일 혹은 지락사고와 같은 내·외부적인 사고로 인하여 갑작스레 계통과 탈락 될 우려가 있다. 이러한 상황에서 출력변동을 억제하기 위하여 배터리에 충전된 전력을 계통에 공급하여 계통에 미칠 영향을 줄일 수 있다. 그림

11은 3개의 단지 중 성산 풍력발전단지가 정상운전도중 탈락하였을 때 3개의 풍력단지와 BESS의 출력 그리고 BESS의 SOC 변화를 보여준다.

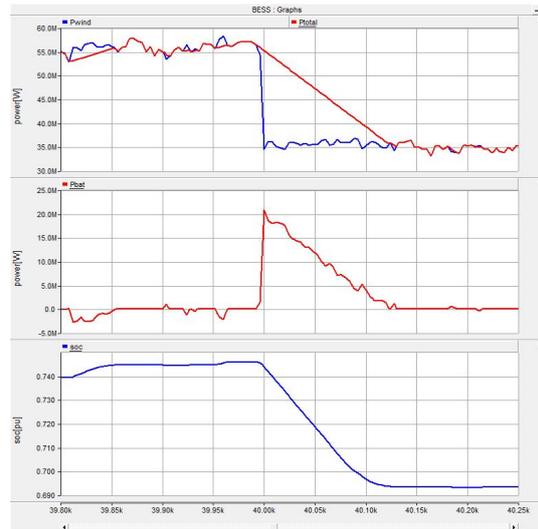


Fig. 11 When a wind farm is disconnected

그림 11에서 실제 풍력 발전단지는 총 57MW의 출력을 보내는 도중 사고로 인하여 하나의 풍력 발전단지가 계통에서 탈락되면서 출력이 35MW로 떨어진 것을 볼 수 있다. 하지만 성산변전소에서 계통으로 나가는 출력의 경우 BESS의 출력 보상으로 인하여 규정내의 출력 변동을 유지하며 서서히 출력이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Table. 6 BESS capacity for two conditions

BESS 설치	단지용량 [MW]		BESS 용량 [MWh]		전체 BESS [MWh]
단지에 설치 시	성산	20	성산	2	6.28
	삼달	33	삼달	3.3	
	행원	9.8	행원	0.98	
변전소에 설치 시			3.3		3.3

표 6은 BESS를 기존의 규정대로 풍력 단지

마다 설치하였을 때와 변전소에 하나의 BESS 만을 설치하였을 경우의 전체 BESS 용량을 보여준다.

5. 결 론

본 논문에서는 하나의 변전소에 연결된 풍력발전단지들을 위하여 하나의 BESS를 설치하였을 경우에 이점에 대하여 서술하였다. 전력계통 운영자의 입장에서 하나의 변전소에 연계된 풍력발전단지들은 하나의 분산전원으로 볼 수 있기 때문에 분산전원의 출력 감발률이 제한 범위를 넘지 않도록 하기 위하여 BESS를 사용할 경우 각각의 단지에 설치하였을 경우보다 그 용량을 줄여도 같은 효율을 보일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

단, 단지 탈락과 같은 문제에서 현재 배터리의 경우 최대 출력 대부분 10C 이하로 제한되어지기 때문에 풍력 발전 단지가 계통에서 순간적으로 탈락 하는 상황을 대비하여 Super-capacitor와 같은 방전효율이 높은 ESS를 추가적으로 설치하는 것이 효과적일 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화 대학원 인력양성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(NO.20094020200020)

참 고 문 헌

1. Feasibility study on the application of ESS for wind turbines in Jeju, Jeju Special Self-governing

- Province, 2013
2. Satoshi Morozumi, NEDO Research Related to Battery Storage Applications for integration of Renewable Energy, New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO), 2010
3. C. M. Shepherd, Design of Primary and Secondary Cells - Part 2. An equation describing battery discharge, Journal of Electrochemical Society, Volume 112, Jul. 1965
4. Panasonic battery manufacturer's datasheet.
5. Method of stability power supply and study on how to increase limited capacity of wind turbines, Jeju Special Self-governing Province, Feb. 2012.