

복합발전의 공급전력 안정성 극대화를 위한 파력발전 PCS의 BESS 연동방안 연구

(A Study on the ESS Integration Plan with Inner PCS of Wave-Offshore Hybrid Generation System for Maximizing Power Profile Stability)

정승민* · 김현욱 · 유연태 · 장길수**

(Seungmin Jung · Hyun-Wook Kim · Yeuntae Yoo · Gilsoo Jang)

Abstract

The combined generator system by integrating several renewable energy sources can share the electrical infrastructure and therefore have the advantage of constructing not only the transmission system but also the power conversion system. Among the various combined renewable system, the wind power and wave power has a high possibility of future growth due to the economic feasibility in offshore environment. This kind of large-scale combined systems might be follow the determination by the transmission system operator's directions and control the output profile by focusing at PCC. However, both renewable energies are depend on the unpredictable environmental variation; it is needed to do the compensation devices. In this paper, the ESS compensation plan is proposed to do output determination of the combined generator system by paying attention to active power of utility grid with the analysis of the controllable elements of the wind and wave power generator. The improvement of the new application technique of the combined system is confirmed through using the PSCAD/EMTDC. The entire simulation process was designed by adopting the active power control according to the reference signal of TSO.

Key Words : Combined Generation System, ESS Management, ESS Application, System Dynamic,
Wave Energy

* 주저자 : 고려대학교 전기공학과 박사과정
** 교신저자 : 고려대학교 전기공학과 교수
* Main author : Ph.D. Candidate, School of
Electrical Engineering, Korea University
** Corresponding author : Professor, School of
Electrical Engineering, Korea University
Tel : 02-3290-3675, Fax : 02-3290-3692
E-mail : gjang@korea.ac.kr
접수일자 : 2014년 3월 5일
1차심사 : 2014년 3월 8일
심사완료 : 2014년 3월 20일

1. 서 론

신재생에너지원에 대한 관심이 증가하고 전력전자 설비 기술의 빠른 성장에 따라 소규모 분산전원설비의 용량이 증가하고 있다. 또한 단일 신재생에너지 발전 설비로 단지를 구성하기보다 서로 다른 환경의 영향을 받는 발전설비를 복합적으로 구성하여 환경에

의한 계통 영향을 줄이고 관련 기반시설을 공유함으로써 경제성을 극대화하기 위한 방안이 주목받고 있다. 전력 산업 분야에서는 각 설비의 대형화 및 대단지화에 의한 출력변동성이 커짐에 따라 출력특성을 안정화하기 위한 기술에 주목하고 있으며 분산전원을 소규모 시스템으로 구성하여 하나의 발전 설비 단위로 연계, 출력제어를 수행하고자 하는 연구가 진행되고 있다[1]. 추가적으로 신재생에너지원의 비중 증가에 대비하여 에너지 저장장치의 적극적인 수용뿐 아니라 출력 예측 시스템 개발, 다양한 에너지원의 보조적 활용에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있다 [2-4].

최근 주목 받고 있는 풍력시스템은 출력 변동문제와 소음문제로 인해 해상에 대규모로 구성하는 방향으로 연구되고 있으며, 해상에서 발전이 가능하고 효율성에서 장점을 가지고 있는 태양광 및 파력발전과의 연계를 통한 복합시스템 구성이 고려되고 있다. 해상풍력 시스템을 구성하기 위해서는 계통에 전력을 공급하기 위한 송·변전 설비 인프라를 구축해야 하며, 환경적으로 영향을 미치지 않는 타 발전설비와 연계 시 인프라 구축비용이 절감된다는 장점이 있다.

기존 전력계통에서는 분산전원의 낮은 용량으로 인해 발전량 변동을 예측하고 제어하기보다, 변동성이 심할 경우 발전 설비를 분리하여 계통에의 영향을 차단하도록 제어하는 경우가 빈번했다[5]. 그러나 복합발전과 같이 설비용량이 10MW를 초과하는 발전 단위는 차단으로 인한 경제적 손실을 고려하여 보다 정확한 제어관리시스템의 필요성이 요구되고 있다.

본 논문에서는 현재 연구되고 있는 10MW급 파력-풍력 복합발전 시스템의 출력 변동성을 고려하여 파력발전기와 연계된 PCS(Power Conversion System)를 응용, 에너지저장장치 시스템 구축을 모의하고자 한다. 파력발전기의 출력량을 계측하여, 효율적인 에너지관리를 수행한다면 PCS의 활용도를 높일 수 있으며, 복합발전의 출력 변동성을 감소할 수 있을 것으로 기대된다. 출력량에 따른 복합발전의 제어 알고리즘을 구축하고 이를 PSCAD/EMTDC를 통해 확인하여 변동성 개선을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 파력-해상풍력 복합발전시스템

파력-해상풍력 복합발전 시스템은 해상에서의 연동 가능성을 바탕으로 해외에서 최초 구상되었으며, 국내에는 최근 10MW급 시스템을 목표로 플랫폼 디자인 구축을 진행하고 있다. 그림 1은 구성되고 있는 시스템의 외관을 나타낸다. 부유식 시스템으로 8MW의 풍력발전 설비용량과 2.4MW급 파력발전 설비용량으로 구성된다. 발전되는 전력은 해상변전소를 통해 계통과 연계되도록 계획되고 있다.

각 모서리의 풍력터빈은 2MW DFIG로 총 4기의 풍력발전기가 포함된다. 외곽에 구성될 파력발전 시스템은 100kW급 PMSLG 발전기로 24기의 발전기가 1개의 PCS에 연계되어 출력을 발생시킨다. 개별 풍력터빈은 역률제어를 수행하게 되며, Full converter 방식으로 구성될 파력발전의 PCS는 관리시스템을 통해 무효전력제어를 수행하게 된다.

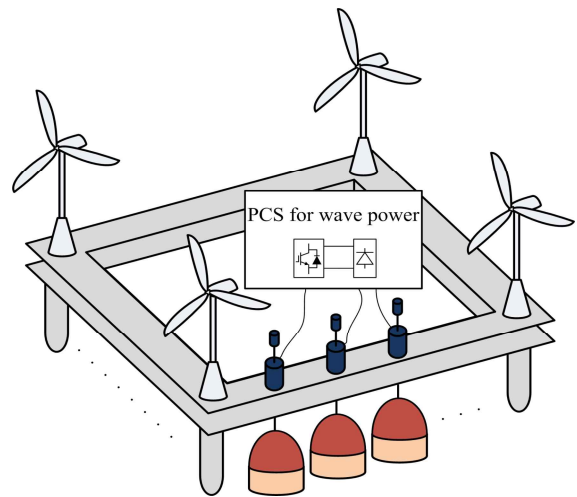


그림 1. 복합발전 시스템 개념도
Fig. 1. Concept of the Wave-offshore hybrid system

2.1.1 DFIG 제어 구조

DFIG 출력 모의를 위해 블레이드, 토크 및 컨버터 제어 모듈을 PSCAD 내부에 구성하여 복합시스템 연계를 진행하고자 한다. 블레이드 면적을 지날 때 풍속

으로부터 얻을 수 있는 터빈의 출력은 식 (1)과 같다.

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

여기서 ρ 는 공기밀도[kg/m³], r 은 블레이드의 반지름[m], v 는 풍속[m/s], C_p 는 출력 계수, λ 는 주속비, β 는 피치각을 의미한다.

풍력터빈의 출력 계수(C_p)가 최대치가 되기 위해서는 최대출력제어(MPPT)를 수행해야 한다. 본 논문에서는 시뮬레이션 내부에 EWEC 모델 정보를 바탕으로 피치와 주속비에 따른 출력계수를 Look-up table로 구성하여 블레이드 모델링을 수행하였다. 블레이드 내부의 주속비를 회전속도와 풍속비로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$\lambda = \frac{r \omega_b}{v} \quad (2)$$

여기서 ω_b 는 블레이드의 회전속도이다[rad/s].

풍력발전기의 피치제어방식은, 출력을 제한하는 경우에는 발전기 측 컨버터(Rotor Side Converter)가 발전기의 토크를 제어하여 최대출력제어를 수행하는 방식을 사용하였다.

2.1.2 PMSLG 구조 설계

본 논문에서는 파력발전기의 출력을 모델링하기 위해 가동 물체형 발전식 해석이 수행된다. 가동 물체형 발전 방식은 파도에 직접적으로 영향을 받는 부이의 상하 운동에 의한 리니어발전기의 피스톤운동을 바탕으로 전력을 생산하는 방식이다.

부이 운동과 그에 따른 리니어발전기의 피스톤 움직임을 모델링하여 전기적 출력을 구성하였다. 피스톤의 변위 x 에 의한 순시 유효전력은 식 (3)과 같다[6].

$$P = \gamma A_{fac} x^2 \quad (3)$$

여기서 γ 는 damping ratio, A_{fac} 은 리니어발전기의 고정자 피스톤이 미치는 영향의 정도를 의미하는 함

수며 그 관계는 식 (4)와 같다.

$$A_{fac} = \begin{cases} 0 & |x| \geq \frac{1}{2}(l_p + l_s) \\ 1 & |x| \leq \frac{1}{2}(l_p - l_s) \\ \frac{1}{l_s} \left[\frac{1}{2}(l_p + l_s) - |x| \right] & else \end{cases} \quad (4)$$

여기서 l_p 와 l_s 는 리니어발전기의 피스톤 길이와 고정자 길이[m]이다.

2.1.3 복합발전 시스템 구성

본 논문에서는 DFIG와 파력발전기의 PCS 특성을 반영하여 복합발전시스템을 구성 하였다. DFIG는 해상에서 파력발전기와 함께 연계하기에 적합한 규모로 고려되는 2MW급 EWEC 상용화 모델을 활용하였으며, 전압형 컨버터 모듈을 구현하여 제어부의 스위칭 신호를 바탕으로 이중 여자 제어를 수행하도록 구성 하였다. 입력되는 풍속정보로 변속 기어, 피치각 정보를 이용해 기계적 토크를 발생하도록 구성하였다. 파력발전기는 24기의 모듈을 하나의 VSC full converter type의 PCS에 연결되도록 구성하였으며, 파랑데이터의 입력을 받아 피스톤의 변위에 의한 유효전력 출력이 발생하도록 단순모델을 구성하였다. 풍속 및 파랑데이터는 Rayleigh 확률분포를 바탕으로 기상청의 실측데이터를 이용하여 예측하였으며, 복합발전의 1차적 시스템 구성이 예상되는 제주도 실측 데이터를 활용하였다. 파주기의 경우 기상청의 데이터를 활용하여 한 시간마다 측정되는 데이터를 모집 단으로 삼아 임의로 나열하여 실제시간과 같게 모델링하였다.

본 논문에서는 복합발전의 전기적 시스템은 내부 전압 0.69kV, 송전전압 23kV로 구성하였으며, 내부 PCS에 BESS를 구성, 파력발전의 실제 발전량을 측정하여 가능한 범위 내에서 충·방전을 수행하고자 한다. 그림 2는 시뮬레이션의 기본적 모듈 및 BESS 예상 연계지점을 나타내며 Offshore 연계모선을 기준으로 각 풍력발전기까지의 선로정보는 동일하다.

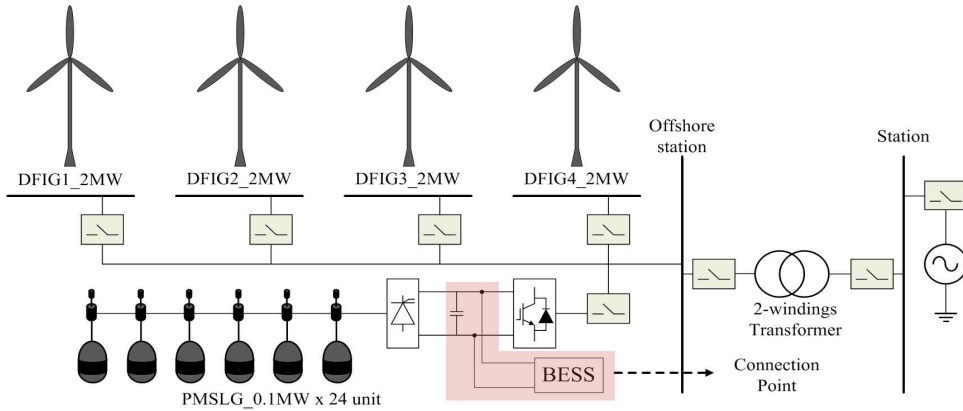


그림 2. 복합발전 시스템의 전기적 기본 구성
Fig. 2. Basic electrical configuration of wave-offshore generation system

2.2 에너지저장장치 연계 시스템

2.2.1 복합발전 내부 PCS의 ESS 연계방안

대규모 분산전원 시스템의 변동성은 전력계통에 단기적으로도 영향을 줄 수 있다. 이러한 변동성을 줄이기 위해 에너지저장장치의 연계를 고려할 수 있는데, 일반적으로 전력산업분야에서 사용되는 ESS 시스템은 AC/DC변환에 사용되는 PCS와 유사한 구조를 갖는다.

표 1은 전력산업분야에 응용되고 있는 BESS (Battery Energy Storage System)을 나타낸 것이다. BESS는 높은 저장용량과 에너지 공급 신뢰성으로 인해 풍력발전사업을 포함한 다양한 전력계통에 응용되고 있다[7].

표 1. 배터리 종류별 특성
Table 1. Characteristics of different batteries

종류	에너지밀도 (Wh/kg)	수명	가격 (€/kWh)
Lead-acid	40	1000	200-400
Nickel-based	50-80	2000	500-1200
NaS	100	2500	400-1500
Lithium	90-190	shorten	700-1000

그림 3은 AC-DC 인버터와 DC-DC 컨버터를 통해

계통에 연계되는 BESS 모델을 나타낸 것이다. 해당 PCS 시스템을 통해 계통의 요구에 빠르게 응답할 수 있으며 여분의 전력량을 AC-DC의 컨버터 동작으로 충전할 수 있다.

배터리의 충·방전량은 PCS의 용량에 의해 제한되며 SOC(State Of Charge)의 변동을 고려하여 충방전이 수행되게 된다.

복합발전 시스템 내부의 파워발전용 PCS에 BESS를 구성한다면 DC 부분에 BESS 시스템을 구성하여야 하며, 기존에 수행되고 있는 VSC 컨버터 내부의 BESS 구성제어전략보다 복잡한 제어전략이 요구된다[8]. 파워발전의 출력량을 하나의 입력으로 고려하여야 하며, 파워발전의 출력량과 BESS의 방전량이 PCS의 용량 제한 내에서 계통에 공급될 수 있도록 제어방안 구성이 요구된다. 파워발전량의 급감 시 BESS 동작을 통해 출력의 안정성 및 전체 시스템의 효율성을 향상시키고자 한다.

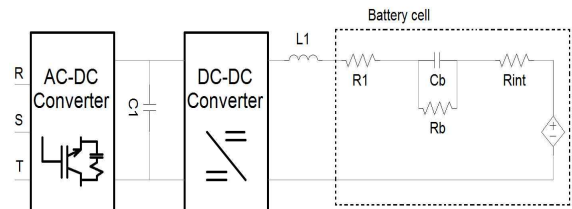


그림 3. BESS 모델
Fig. 3. Design of BESS model and controller

2.2.2 BESS 제어방안

PCS의 안정적인 동작을 위해 상황별 제어방안을 고려한 동작 모드의 정의가 요구된다. BESS는 복합발전시스템의 잉여전력 발생 여부에 따라 SOC 잔여량과 PCS의 용량이 허용하는 범위 안에서 충·방전을 수행하게 된다.

복합발전시스템의 출력을 측정하여 BESS를 동작하기 위해 복합발전의 연계지점을 PCC(Point of Common Coupling)로 지정하여 관계식을 정의하면 식 (5)와 같다.

$$P_{PCC} = P_{WT} + P_{wave} + P_B \quad (5)$$

(단, $P_{wave} + P_B < P_{limit}$)

여기서 P_{PCC} 는 계통연계지점에서의 복합발전 출력, P_{WT} 는 풍력터빈의 출력, P_{wave} 는 파력발전의 출력, P_B 는 BESS의 출력, P_{limit} 은 PCS의 출력제한을 의미한다.

본 논문에서 수행되는 BESS출력제어는 PCC에의 복합발전 출력량을 측정하여, 사전 예측에 의한 최대 지령치 초과량을 BESS를 이용해 충전하고, 최저전력 발생이 예측되는 특정 구간에서 BESS의 방전을 수행하고자 한다. 해당 과정에서 풍력터빈은 SOC가 허용하는 범위 내에서 최대출력제어를 수행할 수 있다. 각 상황에서의 BESS의 충·방전을 나타내면 다음 식과 같다.

$$P_B(t) = P_{PCC}(t) - P_{WF}(t) - P_{wave}(t) \quad (6)$$

$$P_B(t+1) = \begin{cases} P_{max}(t) - P_{WF}(t) - P_{wave}(t) & (P_{max} \geq P_{PCC}) \\ P_{WF}(t) + P_{wave}(t) - P_{min}(t) & (P_{min} < P_{PCC}) \end{cases} \quad (7)$$

여기서 P_{max} 는 복합발전에 예측된 최대전력 지령치, P_{min} 는 BESS 방전을 수행하기 위한 최저전력 설정 값이다.

BESS의 시스템 응답은 복합발전의 유효전력 출력에 초점을 맞추어 수행되며, SOC가 한계용량에 도달하면 풍력터빈의 피치제어를 통해 전력량 제어를 수

행하도록 설정하였다. SOC의 변화를 측정하기 위해 출력량 및 효율을 바탕으로 SOC변화에 관한 식을 다음과 같이 구성하였다.

$$SOC(t+1) = \begin{cases} SOC(t) - \frac{E_B(t)}{\eta E_{max}} & (P_B(t) \geq 0) \\ SOC(t) - \frac{\eta E_B(t)}{E_{max}} & (P_B(t) < 0) \end{cases} \quad (8)$$

여기서 E_B 는 P_B 출력을 바탕으로 계산한 전기적 에너지, E_{max} 는 BESS의 저장 가능한 전기적 에너지를 나타낸다.

PCS의 응답은 파력발전기의 출력량과 ESS의 출력량을 고려하여 최대 전력변환 가능량 안에서 수행된다. 그림 4는 BESS와 복합발전의 출력제어의 플로 차트를 나타낸다.

2.3 모의 시스템 설계

2.3.1 PSCAD 복합시스템 구성

본 논문에서는 연구수행 중인 10MW급 부유식 복합발전시스템 설계를 바탕으로 4기의 DFIG 모델과 24기의 파력발전시스템을 PSCAD로 모의하여 BESS와의 연동방안을 시험해 보고자한다.

파력발전용 PCS와 BESS를 연계하여 전력변환제어 과정을 공유하도록 시스템을 구성하고자한다. 해당 시스템을 바탕으로 평균출력량이 정격용량 이하로 예상되는 PCS 이용률을 향상시킬 수 있을 것으로 예상되며, 10MW급 분산전원의 출력변동을 크게 감소할 수 있을 것으로 기대된다. 기존 연구에서 나타난 소규모 단위 풍력터빈의 BESS활용에 대한 경제성문제를 고려했을 때, 하나의 플랫폼 안에서 구축되는 복합발전시스템의 BESS 활용의 경우 다기 대용량 발전시스템의 변동성 보완이라는 강점이 있다.

2MW의 DFIG모델에 대한 정보는 표 2와 같다[9]. 파력발전기는 선형발전기를 4직렬 모델로 구성하는 방식으로 세부 정보는 표 3과 같다.

풍력터빈의 무효전력 제어는 설정 값을 바탕으로 역률제어가 수행되며, 출력되는 유효전력량을 기준으로

순시제어가 진행된다. 유효전력의 최대·최소 설정 값은 예측된 정보를 바탕으로 계산된 계통운영자(TSO)의 지령에 기반을 두어 지정된다.

PCS 용량을 초과하는 출력량에 대해서는 구성된 풍력발전기의 피치제어를 통해 제어되도록 설정하였다.

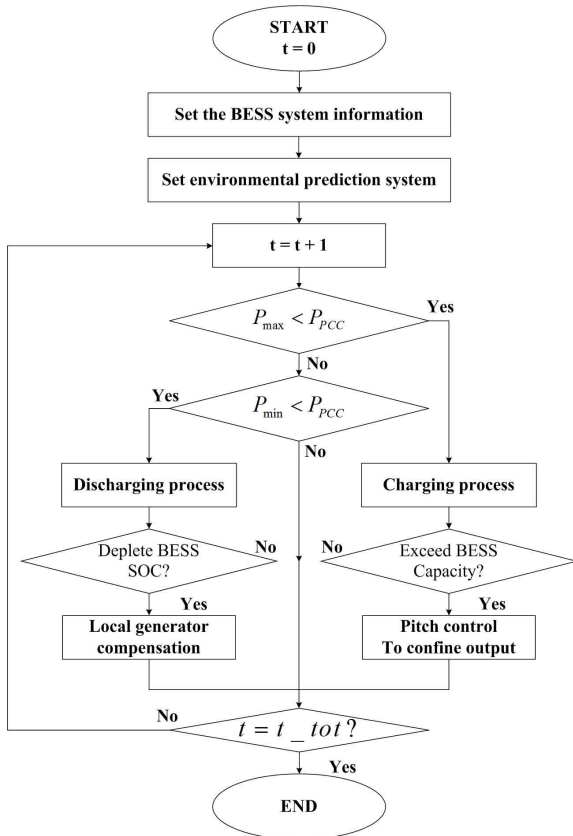


그림 4. 복합발전의 BESS 제어 알고리즘
Fig. 4. Flowchart of control algorithm for BESS

표 2. 시뮬레이션에 이용된 DFIG 모델 정보
Table 2. Rated information of designated DFIG model

정격용량	2.0MVA
로터 직경	80m
정격 풍속	13m/s
정격 전압	0.69kV
정격 전류	2.0kA
극수	4
gear ratio	1:100

표 3. 시뮬레이션에 이용된 PMSLG 모델 정보
Table 3. Rated information of designated PMSLG model

정격 선간전압	980V
정격 상전류	5.775A
상 인덕턴스	28.4mH
상 저항	14.6Ω
Coil length	2.0kA
PM length	4
가변저항(최소)	36Ω
가변저항(최대)	98Ω

2.3.2 사례 연구

PSCAD로 구성된 복합발전시스템을 바탕으로 복합발전시스템 내부의 유효전력 제어를 수행하였다. 상기된 BESS 제어방안과 제한 값 설정, SOC의 충·방전 제한을 설정하여 실제 시스템의 운영에 근접하여 수행될 수 있도록 구성하였다. 구성된 예측시스템이 제주도의 실측데이터를 기반으로 풍황 및 파고 데이터를 입력할 수 있도록 PSCAD 내부에 도입하였다.

시뮬레이션은 초기 기동구간부터 시작하여 풍황이 심하게 변동하는 구간을 측정하여 풍력발전 출력이 최대지령치, 최소지령치를 수행할 수 있도록 설정하였다. 실제시스템에서 TSO의 출력지령이 5초 간격으로 수행되며, 본 시뮬레이션에서는 2번의 지령이 수행되었다. 해당 지령은 예측된 값을 바탕으로 피크 출력의 변동성을 줄이기 위해 ESS의 충전이 수행되는 최대 출력지령, 최저 출력 변동성을 줄이기 위해 ESS의 방전이 수행되는 최저출력 지령으로 구성된다. 구성 시스템의 기본 정보 및 지령에 관한 정보는 표 4와 같다.

표 4. 시뮬레이션에 이용된 PMSLG 모델 정보
Table 4. Rated information of designated PMSLG model

모의 시간	11sec	P.F. wind	-0.95~0.95		
기준 전압	0.69kV	TSO 지령 1(MW)			
정격 용량	10.4MW	최대	8	최소	3.6
풍력 용량	8MW	TSO 지령 2(MW)			
파력 용량	2.4MW	최대	7.5	최소	4.5

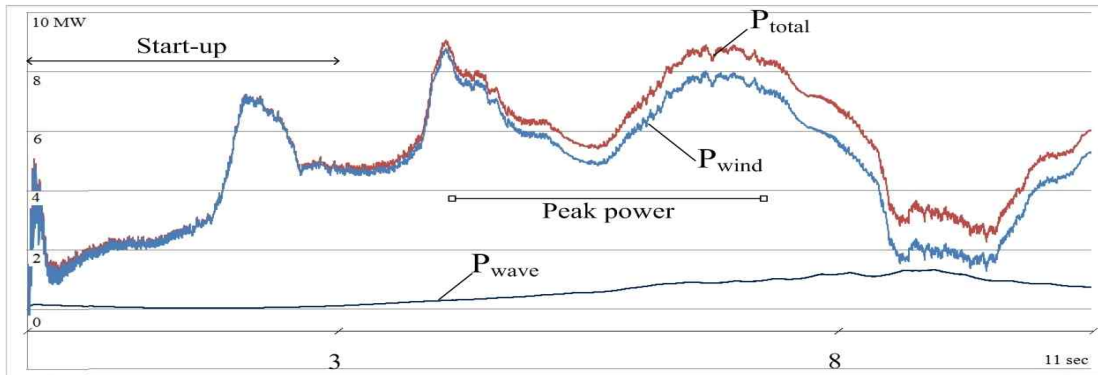


그림 5. BESS가 연동되지 않은 복합발전 시스템 출력
 Fig. 5. Output power of combined generation system(without BESS)

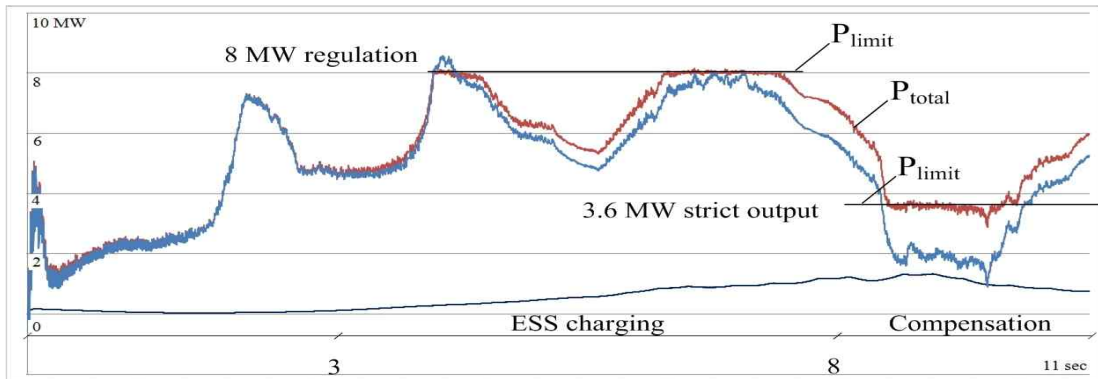


그림 6. 파력발전의 PCS 가능용량 안에서 BESS 연계 시 복합발전 시스템 출력
 Fig. 6. Output power of combined generation system(with BESS, 2.4MVA PCS)

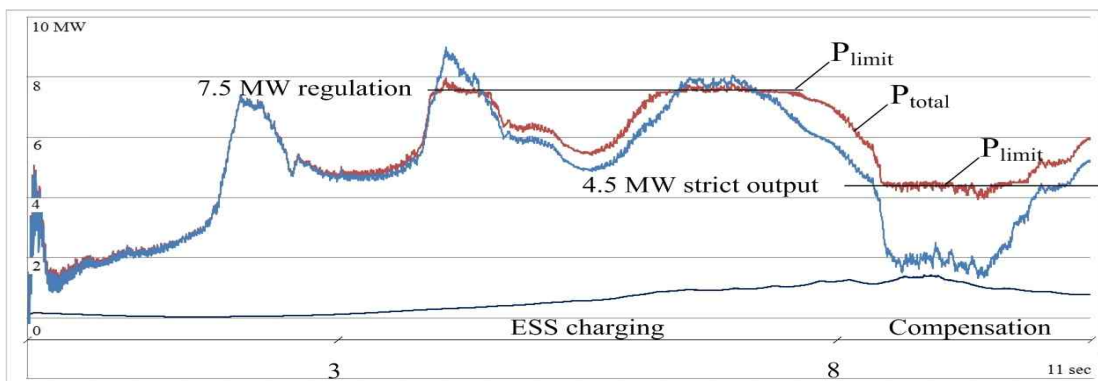


그림 7. 3.6MVA PCS 용량에서 BESS 연계 시 복합발전 시스템 출력
 Fig. 7. Output power of combined generation system(with BESS, 3.6MVA PCS)

2.3.3 사례 분석

제안된 복합발전 내부 BESS 제어방안의 유효성을 검증하기 위해서 수행된 시뮬레이션의 결과는 그림

5~7과 같다. 그림 5의 경우 별다른 제어를 수행하지 않은 복합발전시스템을 풍력발전출력, 파력발전출력, 전체출력을 나타낸 그래프이다. 기동 후 상당 구간에

서 8MW 이상의 출력을 나타내고 있고, 잠시 후 환경 변화에 의해 출력이 급감하는 상황이 모의되었다.

그림 6에 나타난 복합발전 출력의 경우 BESS를 구성하여 2.4MVA의 PCS를 파력발전과 연동한 경우이다. 가능한 PCS 용량 안에서 BESS의 충·방전이 수행되며, 해당 시스템 안에서의 적절한 복합발전 출력 지령은 8MW의 최대지령, 3.6MW의 최소지령으로 나타난다. 해당 지령을 통해 2.2MW까지 발생했던 최소 출력이 상당량 보상되는 것을 확인할 수 있다. 또한 최대 최소출력부분에서 심하게 발생했던 변동부분이 BESS제어를 통해 완화되는 것을 확인할 수 있다. BESS와 직접적으로 연계되어 있는 파력발전기에 관한 충·방전이 우선 수행되며, PCS 용량을 초과하는 풍력 여분량에 대해서는 충전이 이뤄지지 못하는 것을 확인할 수 있다.

BESS의 경우 설비용량 및 전력변환설비 용량을 크게 할수록 그 성능이 증가하지만, 경제적인 부분이 고려되어야 한다. 용량 비교를 위해 PCS 설비용량이 기준보다 1.5배 향상된 경우의 BESS 보상과정을 수행하였다. 그림 7에 나타난 복합발전 출력의 경우 BESS를 구성하여 3.6MVA의 PCS를 파력발전과 연동한 경우이다. 해당 시스템 안에서의 복합발전 출력 지령은 최대 7.5MW, 최소 4.5MW까지 가능하다. 해당 지령을 통해 최소출력이 크게 보상되는 것을 확인할 수 있다.

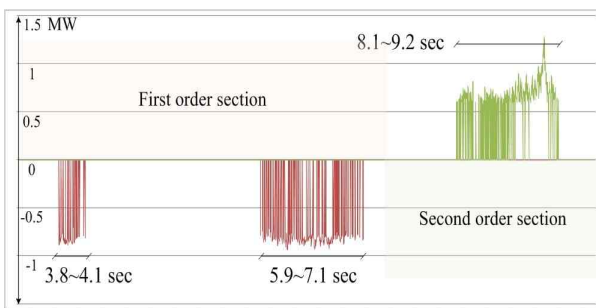


그림 8. 지정 구간에서의 BESS 충·방전(2.4MVA)
Fig. 8. BESS output within designated section (2.4MVA)

해당 부분에서 BESS의 출력을 비교해 보기위해 출력량을 그래프로 나타내었다. 그림 8은 2.4MVA의

PCS를 바탕으로 구성된 복합발전시스템에서의 BESS 출력량을 나타낸다.

그림에서 나타난 바와 같이 BESS의 출력량이 PCS의 용량에 의해 제한되고 있는 것을 확인할 수 있으며, 구성된 시뮬레이션의 최대출력 제한 구간에서 Negative 전력 발생(BESS 충전 구간), 보상 구간에서 Positive 전력 발생(BESS 방전 구간)이 나타난다.

해당 구간 이외의 영역에서는 BESS가 동작하지 않으며, 빠른 응답특성을 바탕으로 보상이 필요한 구간에서만 SOC 허용 범위 안에서 충·방전을 수행한다.

그림 9는 3.6MVA의 PCS 설비에서 구성된 복합발전시스템의 BESS 출력량을 나타낸다. 2.4MVA와 비슷한 영역 안에서 충·방전과정을 수행하지만, 출력 가능량이 증가하였기 때문에, 보상 가능한 영역이 넓어지게 되고, 최대출력지령에 의한 충전구간과 충전량을 바탕으로 산정되는 보상구간이 넓어짐에 따라 BESS 응답 구간 또한 넓어지게 된다.

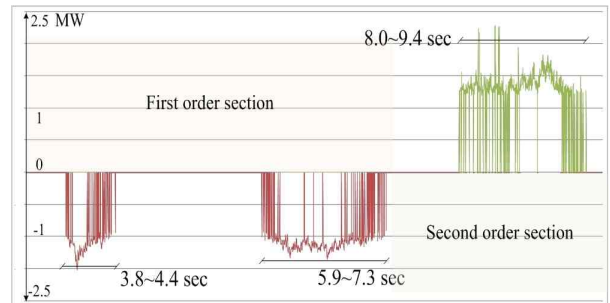


그림 9. 지정 구간에서의 BESS 충·방전(3.6MVA)
Fig. 9. BESS output within designated section (3.6MVA)

표 5. 시뮬레이션에 수행된 수치적 결과 분석
Table 5. Numerical results data of proposed analysis

분류	PCS (MVA)	충전량 (Wh)	적정용량 (Wh)	전체 Peak (MW)	BESS Peak (MW)	BESS 동작시간
Normal operation	2.4	-	-	8.784	-	-
Case 1	2.4	142.3	179	8.03	1.195	2.6sec
Case 2	3.6	421.2	527	7.72	2.25	3.4sec

해당 구간에서 발생하는 BESS 출력량의 경우도 최대 2.2MW를 보이며 최대 지령치, 최저 지령치 감소에 의해서 스위칭이 발생하는 횟수도 적어지는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

해당 보상과정에서 요구되는 BESS 용량 및 SOC 관련 정보를 표 5에 나타내었다. 각 케이스별 최대출력, 최저출력 및 출력 구간에 대한 비교를 바탕으로 구성하고자 하는 BESS에 대해 용량 분석이 요구된다.

BESS의 경우 배터리의 수명을 고려하여 SOC의 충·방전 제한치를 설정하게 된다. 해당 분석과정에서는 20~80% 제한 안에서의 충·방전과정을 고려하여 BESS의 정격용량을 산정하였다. PCS의 용량 증가에 따라 충전가능범위가 크게 증가하기 때문에 정격용량에서 큰 폭의 상승이 나타난다. Case 1과 비교하여 BESS에서 출력되는 Peak 방전량은 Case 2가 약 2배정도 높게 나타나며, 지속적인 보상 수행을 위해 BESS의 동작시간 및 보상 범위에 대한 적정 연구가 필요하다.

3. 결 론

본 논문에서는 연구되고 있는 복합발전 시스템에서 예상되는 PCS 이용률 문제에 대한 해결과, 출력 변동률의 완화를 위해서, 복합발전 시스템 내부에 BESS를 구성하여 파력발전 시스템과 PCS 공유를 통해, 전체 유효전력 출력을 완화하기 위한 연구를 수행하였다. DFIG 4기와 PMSLG 24기를 PSCAD에 구성하여 복합시스템을 구성하고 제주도에서 실제 측정된 환경 데이터를 이용 출력변화를 나타내었다.

BESS의 경우 보상범위를 충분히 고려하여 저장가능용량을 산정해야 하며 추가적으로 순시출력변동을 고려하여 PCS 용량을 산정해야 한다. 복합발전 시스템의 경우 파력발전이 직류변환과정을 거쳐 교류 시스템에 연계되며, 해당 출력량의 변동에 따라 PCS 용량에 대하여 여분이 지속적으로 발생하게 된다. 따라서 BESS의 연계를 통해 PCS의 공유가 용이하며 해당 PCS 구성의 경제적인 부담을 복합발전시스템 안에서 분담할 수 있다.

본 논문에서 수행된 복합발전시스템의 BESS 제어

과정에서 요구되는 용량의 경우 정격 PCS안에서의 BESS 용량은 179Wh인데 반해 3.6Wh의 PCS에서의 정격 용량은 527Wh로 약 3배의 용량 증가가 필요한 것으로 나타났다. 복합발전의 출력 변동성 완화를 목표로 PCS 정격 내에서의 소규모 BESS 연계는 비교적 적은 용량으로 수행될 수 있을 것으로 보인다.

해당 산정과정은 연계된 PCS의 전력변환가능용량에 중점을 맞추어 수행된 분석이므로 복합발전 시스템을 구성하고자 하는 지점에서의 추가적 분석이 요구된다. 파력발전출력이 PCS정격 용량에서 변동하는 범위에 따라 정격 용량 산정과정이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구이고 (No. 20134030200340)

2013년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(10MW급 부유식 파력-해상 풍력 연계형 발전시스템 개발 및 인프라 구축) (No. 20130032)

References

- [1] G. Xydis, "On the exergetic capacity factor of a wind - solar power generation system," Journal of Cleaner Production, Vol. 47, pp. 437-445, 2013.
- [2] L. Ren, Y. Tang, J. Shi, J. Dou, S. Zhou, T. Jin "Techno-economic evaluation of hybrid energy storage technologies for a solar-wind generation system," Physica C: Superconductivity and its Applications, Vol. 484, pp. 272-275, 2013.
- [3] W. Li, G. Joos, J. Belanger "Real-Time Simulation of a Wind Turbine Generator Coupled With a Battery Supercapacitor Energy Storage System," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, pp. 1137-1145, 2010.
- [4] S. M. Muyeen, R. Takahashi, T. Murata, J. Tamura "Integration of an Energy Capacitor System with a Variable-Speed Wind Generator," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 24, pp. 740-749, 2009.
- [5] QiYu Chen, Tim Littler, Haifeng Wang, "Tripping control for transient stability in coordinated hydro and wind generation," IET Renewable Power Generation Conference, pp. 1-4, 2013.
- [6] M. Eriksson, R. Waters, O. Svensson, J. Isberg, M. Leijon, "Wave power absorption: Experiments in open sea and simulation," Journal of Applied Physics, Vol. 102, 2007.

- [7] S. Jung, H. W. Kim, J. H. Lee, H. Lee, G. Jang, "Development of wind farm self-operation algorithm in micro power system by using surplus-power concept," ISGCE 2013, 2013.
- [8] R. Mittal, K. S. Sandhu, D. K. Jain, "Battery energy storage system for variable speed driven PMSG for wind energy conversion system", PEDES 2010.
- [9] J. pujante, etc, "Performance comparison of a 2MW DFIG wind turbine model under wind speed variation", EWEC 2009.



김현욱(金賢煜)

1988년 7월 25일생. 2012년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 전기전자전파공학과 석박사통학과정.



유연태(柳然太)

1991년 2월 8일생. 2013년 고려대 전기전자전파공학부 졸업. 2013년~현재 동 대학원 전기전자전파공학과 석박사통학과정.

◇ 저자소개 ◇



정승민(鄭丞珉)

1986년 10월 12일생. 2010년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



장길수(張吉洙)

1967년 10월 26일생. 1991년 고려대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 美. Iowa 주립대 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(박사). 현재 고려대 전기전자전파공학과 교수.