

에너지 저장장치 내장형 하이브리드 전력변환장치를 이용한 계통안정화연구

이성수¹, 김형준¹, 한기준¹, 조병국², 서광덕¹
이엔테크놀로지(주)¹, (주)소노텍²

A Study on the Hybrid PCS using Energy Storage System for Grid Stabilization.

Seong Su Lee¹, Hyung Jun Kim¹, Gi Jun Han¹, Dustin Cho², Gwang Deok Seo¹
EN Technologies Inc¹, Sonotech Inc²

ABSTRACT

본 연구에서는 실증기능 구현을 위해 75KW로 설계된 리튬 폴리머배터리(Lithium Polymer Battery 이하 배터리)와 ESS(Energy Storage System) 내장형 Hybrid PCS(이하 PCS)을 이용하여 불균일한 풍력 발전원에 대한 Smoothing 제어 및 정출력 제어 대한 연구를 진행 하였다. 잦은 전류 변동으로 인해 발생하는 출력 변동의 안정화를 위해 인버터 전류제어, 벡/부스트 전압제어 기법을 사용하였다. 최적의 Smoothing 제어를 위한 필터 계수 값을 찾기 위한 시험을 진행 하였으며 Energy shift을 위한 정출력 시험도 진행 하였다. 또한 각 제어 모드에서 ESS 중요 파라미터인 SOC(State Of Charge 이하 SOC)변화를 배터리 특성과 관련하여 분석해 보았다.

한 개의 모듈이 되고, 14개의 모듈을 직렬 연결하여 한 개의 Rack이 되게 구성하였다. 총 2개의 Rack으로 약 75kWh급 용량을 가진다. 각 모듈 단위로 BMS가 내장되어 있으며 모듈 BMS는 각 셀의 전압 및 온도를 모니터링하는 기능과 셀의 발란스를 할 수 있는 기능을 가지고 있다. 각 모듈 BMS는 CAN 통신을 통해 연결되며 각각의 모듈 BMS는 Rack의 감시를 총괄하는 마스터 BMS로 연결된다. 마스터 BMS는 모듈 BMS를 통해 전달된 셀 데이터를 취합하고 RS 422통신을 통해 PCS에 데이터를 전달한다.

1. 서론

화석연료의 고갈 및 원자력 발전의 위험성으로 인해 신재생 에너지를 이용한 전력생산이 각광받고 있지만 풍력 및 태양광과 같은 신재생에너지원은 불균일한 발전량으로 인해 상용전원과 같은 수용가 요구에 부응한 안정적인 전력공급이 어려운 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 ESS 내장형 PCS^[1]을 이용하여 계통안정화를 위한 풍력 발전원의 Smoothing 제어^[2] 및 정출력 제어에 관한 연구를 진행하였다.



그림 2 설치 현장 모습
Fig. 2 External view

2. 시스템 구성도

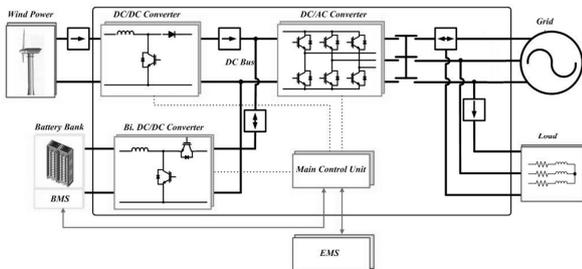


그림 1 Hybrid PCS 구성도
Fig. 1 A hybrid PCS configuration

본 시스템에서 사용된 발전원은 풍력 100kW 영구자석형 동기방식의 발전원이다. 배터리는 총14개 셀이 직렬로 연결되어

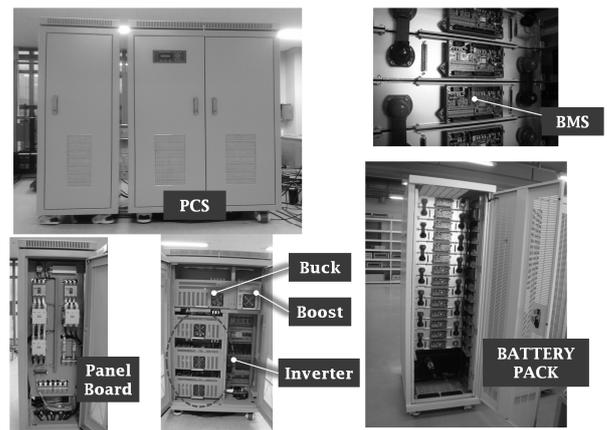


그림 3 Hybrid PCS 외관
Fig. 3 Feature of the hybrid PCS

PCS의 구성은 풍력 발전원을 제어할 수 있는 100kW급 벡 컨버터, 계통연계기능을 지원하는 33kW급 단상 계통연계 인버터가 3개로 구성되어 3상을 지원한다. 배터리와는 75kW급 양방향 벡/부스트컨버터로 구성되어 양방향 전력을 제어한다. 각각의 PCS는 계통연계인버터의 DC link를 공유하며 각각의 PCS의 기능을 담당하게 되어 독립적으로 운전이 가능하다.

DNP3.0을 통해 EMS(Energy Management System_상위 제어 기로서 풍력 이외에 태양광 소수력 등의 제어를 총괄함)와 연결되며 모든 정보와 명령이 DNP3.0를 통해 풍력 발전원을 제어할 수 있는 빅컨버터에 연결 된다. 각각의 PCS와는 CAN통신을 통해 연결되며 각각의 PCS는 정전압 제어, 정전력 제어 등의 기능을 통해 시험 목적에 맞는 Smoothing, 정출력등의 풍력 발전원 제어를 할 수 있게 한다.

그림 2는 제주도 행원리 SR PCS 설치 장소 외관 모습이며, 그림 3은 제작된 PCS의 모습이다.

2. 시스템 제어

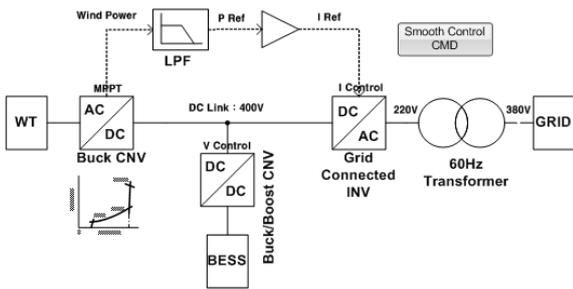


그림 4 Smoothing 제어 흐름도

Fig. 4 A smoothing control flow diagram

그림 4의 Smoothing 제어는 빅컨버터가 발전원에서 PCS에 입력되는 전력에 대해 LPF(Low Pass Filter)를 이용하여 Filter 취한 전력 레퍼런스를 인버터에 전달하고 인버터가 이를 추종하는 전류 레퍼런스를 통해 출력을 내보내는 동작으로 진행된다. 입력 대비 남는 에너지에 대해서는 빅/부스트컨버터를 이용하여 배터리에 충전하고 반대로 부족한 에너지는 배터리에서 방전한다. 결국 PCS 출력은 빅/부스트컨버터의 동작으로 인해 발전원에 대해 Filtering한 기준 값이 계통에 출력된다. Filter level에 따라 입력 대비 출력의 Smoothing 단계 조절이 가능하다.

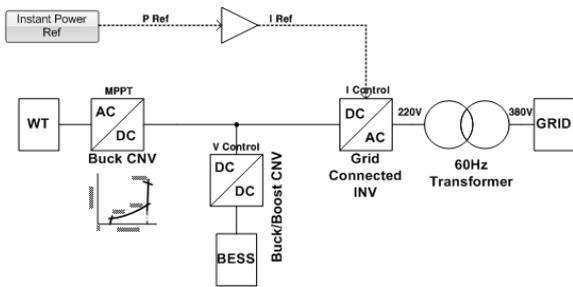


그림 5 정출력 제어 흐름도

Fig. 5 A constant control flow diagram

그림 5의 정출력 제어는 빅컨버터에서 정출력 지령 값을 인버터에 전달하게 되면 인버터는 지령 출력 전력 레퍼런스를 전류 레퍼런스로 변환하여 동작하게 된다. 인버터의 전류 제어는 PCS출력 안정과 직결되므로 매우 중요하다. 이 후 동작은 Smoothing 모드로 동작할 때와 같다. 입력 대비 남는 에너지에 대해서는 빅/부스트컨버터를 이용하여 배터리에 충전하고 반대로 부족한 에너지는 배터리를 이용하여 방전한다. 결국 인

버터는 빅/부스트컨버터의 동작으로 인해 발전원 입력에 상관 없이 지령 받은 출력 값을 계통에 출력할 수 있다.

4. 실험 결과

4.1 Smoothing 제어

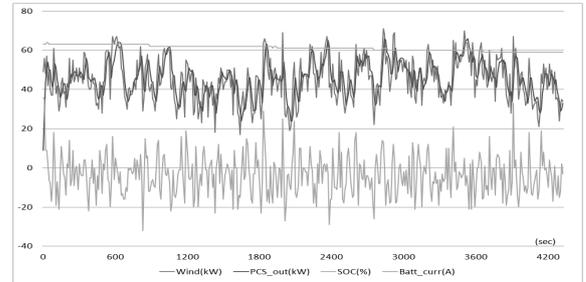


그림 6 2012년 4월 20일 15시 07분 - 16시 19분(Filter constant = 0.1[Hz])

Fig. 6 Filter coefficient 0.1 [Hz] for smoothing control

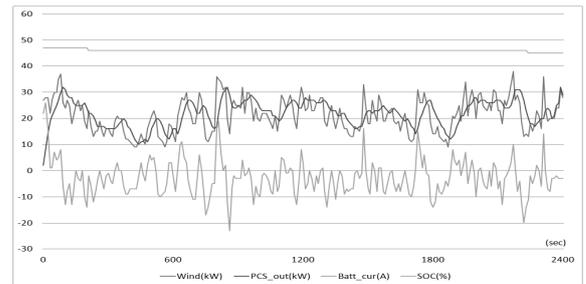


그림 7 2012년 4월 21일 15시 05분 - 15시 45분(Filter constant = 0.05 [Hz])

Fig. 7 Filter coefficient 0.05 [Hz] for smoothing control

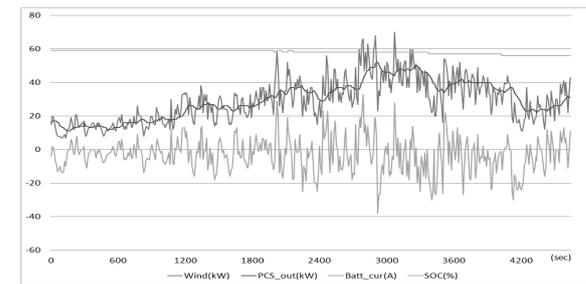


그림 8 2012년 4월 21일 16시 00분 - 17시 17분(Filter constant = 0.01 [Hz])

Fig. 8 Filter coefficient 0.01 [Hz] for smoothing control

그림 6, 그림 7, 그림 8은 Smoothing제어 시험 출력 파형을 나타내고 있다. 필터 계수가 0.1[Hz]일 경우, 단주기(30분 이하)에서는 출력파형이 Smoothing되고 있는 것처럼 보였으나, 그림 6의 장주기(30분 이상) 시험 결과 발전원에 대해 PCS 출력 Smoothing이 미흡함을 확인할 수 있었다. 그림 7은 필터계수를 0.05[Hz]한 시험결과이다. 0.1[Hz]보다 PCS 출력 파형이 개

선된 Smoothing 결과를 보였다. 마지막으로 그림 8은 필터계수를 0.01[Hz] 한 시험결과이다. PCS출력이 이전 결과들에 비해 안정되게 Smoothing 되는 결과를 볼 수 있었다. SOC변화는 세 가지 조건 모두 동일하게 약 3% 감소하는 결과를 보였다. 이는 배터리의 충전 효율 및 Smoothing 원리와 관련이 있다. Smoothing은 발전원 입력에 대해 정해진 평균 레벨을 배터리의 에너지의 충/방전을 이용하여 추종하고 이를 PCS 출력으로 내보내는 것이다. 하지만 배터리의 충전 효율은 약85%로 충전 효율이 방전효율보다 낮다. 결국 Smoothing을 장시간 진행 하게 되면 배터리의 SOC는 감소할 수밖에 없다.

4.2 정출력 제어

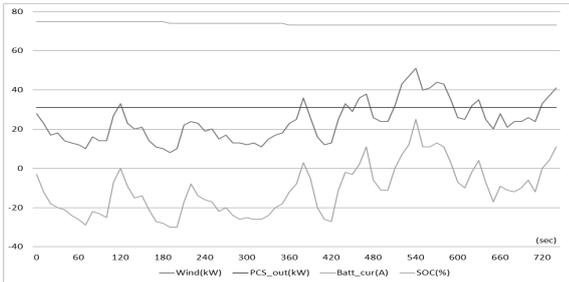


그림 9 2012년 4월 20일 17시 05분 - 17시 17분(정출력 30kW)

Fig. 9 Constant control 30kW

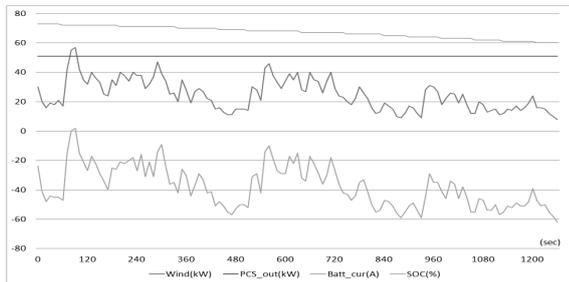


그림 10 2012년 4월 20일 18시 04분 - 18시 25분(정출력 50kW)

Fig. 10 Constant control 50kW

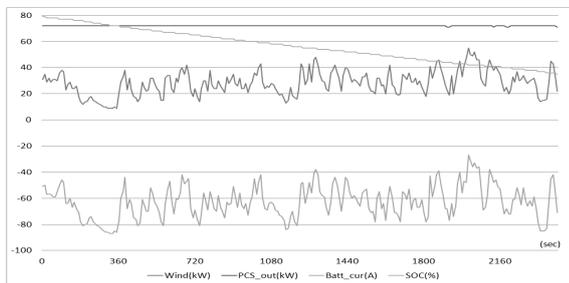


그림 11 2012년 4월 21일 19시 05분 - 19시 45분(정출력 70kW)

Fig. 11 Constant control 70kW

그림 9는 정출력 30kW(약 10분) 시험결과를 나타내고 있다. PCS출력은 31kW로 전 구간에서 변동 없이 출력되었다. SOC는 발전원 입력이 지령치 보다 높은 충전 구간이 존재하긴 하지만 전체적으로 방전 구간이 많아 75%에서 72%로 감소하는

결과를 나타내었다. 그림 10의 정출력 50kW(약 20분) 시험결과, PCS출력이 51kW로 전 구간에서 변동 없이 출력되었으며 SOC는 충전구간이 거의 존재하지 않아 73%에서 60%로 감소하였다. 그림 11의 정출력 70kW(약 40분) 시험결과, 발전원 출력이 72kW에서 71kW로 변화는 구간이 존재하였고, SOC는 79%에서 35%로 감소하였다. 위의 정출력 시험결과 PCS 출력이 지령치에 대해서 오차가 존재하긴 하지만 변동율은 1%내에서 추종하는 결과를 보였다. ESS가 SOC를 발전원 입력, 정출력 지령치, 정출력제어 시간에 따라 정상적으로 추종하는 것을 볼 수 있었다.

5. 결론

제주도 행원리 SR(Smart Renewable) 실증단지 소용력 PCS의 실증 시험인 Smoothing제어와 정출력제어 시험을 진행하여 ESS 내장형 Hybrid PCS의 기능을 검증하였다. 시험결과 실증 목표에 만족하는 결과를 얻었다. 추후 실증기간 동안 효과적인 SOC관리를 위해 Smoothing 장주기 제어시에는 실증운영 시나리오에 맞춘 출력 값 변환 알고리즘을 추가하고 정출력 제어시에는 풍력 발전에 대한 예측 DATA를 바탕으로 정출력 가능 시간을 설정하고 이외 시간에는 배터리를 충전하는 알고리즘을 추가하여 최적의 SOC관리가 가능하도록 하는 연구를 진행할 계획이다. 추가적으로 신재생에너지원의 종류와 용량 및 구현되는 기능에 맞는 ESS용량 선정에 관한 연구도 진행할 계획이다.

이 논문은 지식경제부 전력산업원천기술개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] T. Noguchi, "Verification of a Microgrid Sytem in a Small Isolated Island", TENCON 2010, pp. 2188 2190, 2010, Nov.
- [2] Thanh Hai Nguyen, "Ride Through Technique for PMSG Wind Turbines using Energy Storage Systems." JOURNAL OF POWER ELECTRONICS Vol.10 No.6, pp. 733 738, 2010.