

계통연계형 태양광-풍력-축전지 하이브리드 분산전원 시스템 개발

진진홍*, 조창희, 김술기, 안중보
한국전기연구원 전력연구단 신재생에너지연구그룹

Development of a Grid-connected PV-WT-BESS Hybrid Distributed Generation System

Jeon Jinhong*, Cho Changhee, Kim Seulki, Ahn Jongbo

Electric Power Research Laboratory, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문은 태양광과 풍력, 축전지 시스템으로 구성된 계통연계형 복합 분산전원 시스템의 구성과 실험 결과를 제시한다. 본 논문에서 제시하고자하는 계통연계형 태양광-풍력-축전지 복합 분산전원 시스템은 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 에너지원으로 사용하였으며 에너지 저장장치로는 축전지 시스템을 사용하였다. 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템, 축전지 시스템은 모두 공통 직류단에 연결되어 있으며 계통과 연계운전을 위한 계통연계 인버터 시스템을 공통 직류단과 계통 연계점 사이에 적용하여 연계점의 출력을 제어하였다. 또한 분산전원 통합제어 시스템을 개발하여 전체 복합 분산전원 시스템의 출력과 각 모듈의 상태를 감시, 제어하는 기능을 하도록 하였다. 개발된 복합 분산전원 시스템에 전력 평준화 알고리즘을 적용한 실험 결과의 제시를 통해 제작된 시스템과 전력 평준화 알고리즘의 유용성을 검증하였다. 본 논문에서 제시된 복합 분산전원 시스템은 복수의 에너지원을 이용하므로 전력공급의 신뢰도를 향상시킬 수 있어 상용전력이 공급되지 않는 도서지역 등에 단독 운전용으로 적용이 가능하다.

1. 서 론

미래의 전력시스템은 전력 에너지가 자유롭게 발전, 송전, 배전되고 소비되는 다목적이며 유연한 시스템이 될 것이라 전문가들이 예측하고 있으며 이러한 시스템의 대표적인 사례가 마이크로그리드(Microgrid) 시스템이다. 마이크로그리드는 미래의 전력 시스템으로서 미국, EU 및 일본을 중심으로 1990년대 후반부터 본격적으로 연구가 진행되고 있다^[1-3]. 마이크로그리드는 분산전원이 충분한 양으로 배전계통에 도입되고 이들의 적절한 제어와 보호를 통해 배전계통과 연계 혹은 독립운전이 가능한 전원과 부하가 혼재된 전원 시스템으로 정의되어 있으며^[2] 이러한 미래전원의 핵심기술을 연구개발함으로써 원천적인 기술을 확보하기 위한 연구가 한국전기연구원에서 진행 중에 있다^{[1][2]}. 마이크로그리드를 구성하는 전원으로서는 신재생 에너지 전원을 적용하고자 하는 많은 연구가 진행되고 있으나 현재 적용되고 있는 풍력, 태양광 등의 에너지는 주변 환경 및 운전조건에 따라 출력특성의 차이가 심하고 연료전지, 마이크로터빈 등은 운전조건에의 영향은 작지만 그 자체가 응답성에 제한이 따르는 등 기존의 발전 방식과는 다른 동태적인 특성을 가지므로 현재로서는 대안은 복합적인 운용을 통하여 각 에너지원의 한계를 보완하는 기술이 필요하다^{[1][2]}.

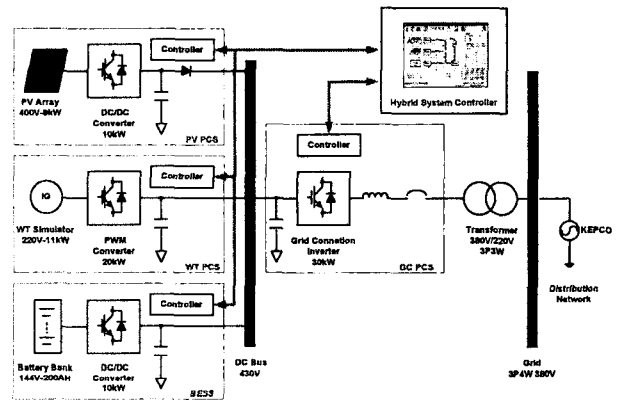
신재생 에너지를 이용한 발전 시스템은 발전 에너지원이 자연조건에 의존하는 특성으로 인하여 전력공급의 안정성 및 지속성에 단점을 가지고 있다. 따라서 서로 다른 특성을 가지는 에너지원을 이용하는 전원을 복합적으로 구성하여 서로의 단점을 보완할 수 있도록 구성한 것이 복합 분산전원 시스템이다. 이러한 복합 분산전원 시스템의 에너지원으로는 풍력, 태양광, 연료전지 등 다양한 신재생 에너지를 복합적으로 사용할 수 있으며 사용 여건에 따라 에너지 구성비를 적절히 하여 최적의 운전 효과를 얻을 수 있도록 한다. 복합 분산전원 시스템은 사용되는 시스템의 종류에 따라 다양한 구성이 가능하며 크게 공통 교류 모선형과 공통 직류 모선형으로 구분할 수 있다. 복합 분산전원 시스템은 적용 용도에 따라 계통연계형과 독립운전형으로 구분되며 독립운전형은 전력수요와는 달리 발전량이 자연 조건에 의존하는 점 때문에 축전지 같은 에너지저장장치나 디젤엔진 같은 백업용 발전기가 반드시 필요하다^{[2][4]}. 복합 분산전원 시스템과 관련된 주요한 연구결과를 살펴보면 복합 분산전원 시스템의 응용 측면에서 원격지나 미전화지역의 전력공급시스템으로서 단독운전을 전제로 한 부하와 발전의 에너지 수급균형 측면에서 시스템의 최적 구성 및 제어에 관련된 연구^[5]와 제어의 측면에서는 주로 풍력 및 태양광 발전에 있어서 에너지원의 최대 이용이라는 점이 강조되어 최대출력점추종제어, 시스템의 비용 측면에서 축전지 용량의 최적화 등이 주요 연구 대상이며 백업 시스템으로서 연료전지, 축전지, 디젤엔진 발전기 등의 응답특성에 관련된 연구^[7-10] 결과가 발표되고 있다.

본 논문은 태양광과 풍력, 축전지 시스템으로 구성된 계통연계형 복합 분산전원 시스템의 구성과 실험 결과를 제시한다. 본 논문에서 제시하고자하는 계통연계형 태양광-풍력-축전지 복합 분산전원 시스템은 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 에너지원으로 사용하였으며 에너지 저장장치로는 축전지 시스템을 사용하였다. 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템, 축전지 시스템은 모두 공통 직류단에 연결되어 있으며 계통과 연계운전을 위한 계통연계 인버터 시스템을 공통 직류단과 계통 연계점 사이에 적

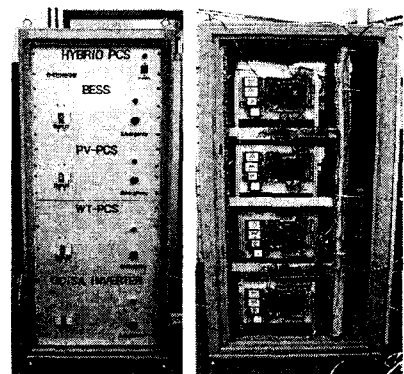
용하여 연계점의 출력을 제어하였다. 또한 분산전원 통합제어 시스템을 개발하여 전체 복합 분산전원 시스템의 출력과 각 모듈의 상태를 감시, 제어하는 기능을 하도록 하였다. 개발된 복합 분산전원 시스템에 전력 평준화 알고리즘을 적용한 실험 결과의 제시를 통해 제작된 시스템의 유용성을 검증하였다. 본 논문에서 제시된 복합 분산전원 시스템은 복수의 에너지원을 이용하므로 전력공급의 신뢰도를 향상시킬 수 있어 상용전력이 공급되지 않는 도서지역 등에 단독 운전용으로 적용이 가능하다.

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광-풍력-축전지 복합 분산전원 시스템



〈그림 1〉 계통연계형 복합 분산전원 시스템의 구성



〈그림 2〉 계통연계형 복합 분산전원 시스템

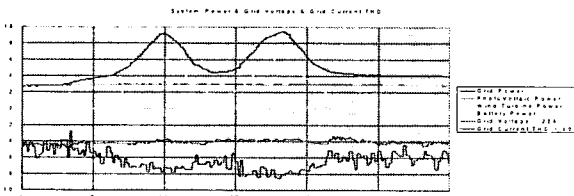
본 논문에서 제시하는 계통연계형 복합 분산전원 시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있으며 그 기능은 다음과 같다. 태양광 발전 시스템 (Photovoltaic PCS, PV PCS)은 400V-9kW의 태양 전지 어레이와 10kW의 Boost DC-DC 컨버터로 구성되어 있으며 일사량의 변화에 따라 최대출력을 발생하도록 하는 최대출력점추종제어로 운전한다. 풍력 발전 시스템 (Wind Turbine Simulator, WT PCS)은 220V-11kW의 풍력 발전 시스템 모의장치(Wind Turbine Simulator)와 20kVA의 PWM 컨버터로 구성되어 있으며 바람의 속도에 따라 최대 출력을 발생하도록 하는 최대출력점추종제어로 운전한다. 축전지 시스템(Battery Energy Storage System, BESS)은 12V-200AH 용량의 납축전지 12개가 직렬로 구성된 144V-200AH 용량의 축전지 모듈(Battery Bank)과 10kW의 DC-DC 컨버터로 구성되어 있으며 복합 분산전원 시스템의 운전 상황에 따라 적절한 충전 및 방전을 통해 공통 직류단의 전압이 상한 설정값과 하한 설정값을 초과하지 않도록 제한한다. 계통연계 인버터 시스템(Grid Connection PCS, GC PCS)은 태양광 및

풍력 발전 시스템으로부터 공통 직류단에 입력되고 있는 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 계통에 투입하는 기능을 하며 그림 1에 나타난 바와 같이 3상 220V 계통에 연계되어 운전되고 있다. 분산전원 통합제어 시스템은 개별 시스템의 제어기와 직렬 통신으로 연결되어 있으며 이를 통해 복합 분산전원 시스템의 상태를 감시, 보호 및 제어 기능을 한다. 제작된 계통연계형 복합 분산전원 시스템의 시제품은 그림 2와 같다.

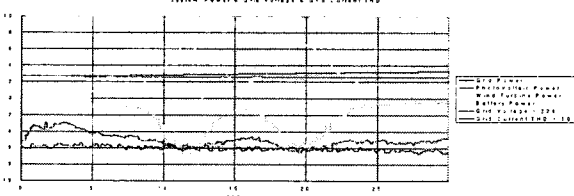
2.2 실험 결과

연계계통에 주입되는 전력의 급격한 변화는 전압변동, 전류 고조파 등의 전력 품질 저하의 원인이 된다. 따라서 통합제어기에 출력의 변화를 조절할 수 있는 전력평준화 알고리즘을 구현하여 그 결과를 제시하고자 한다. 전력평준화 알고리즘은 입력전력의 순시 총합을 저주파 필터를 이용하여 평준화하여 이를 연계인버터의 출력 기준값으로 입력하는 방법으로 구현하였다. 전력평준화 알고리즘의 효과를 검증하기 위하여 전력평준화 알고리즘을 적용하지 않은 두 가지의 다른 실험결과(공통 직류단 전압제어, 일정전력출력 제어)와 세 가지 서로 다른 조건의 전력평준화 알고리즘에 대한 실험결과를 비교하고자 한다. 위에서 설명한 다섯 가지 실험내용, 실험조건과 상세한 실험결과는 지면관계상 생략하며 참고문헌 [2]에 상세히 제시하였다.

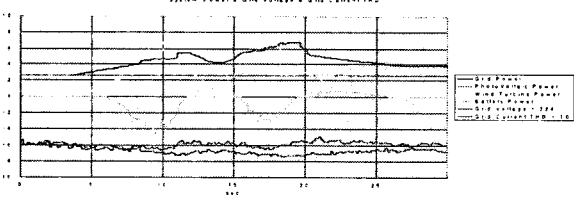
신재생에너지전원의 출력변동에 따른 연계계통 출력의 변화와 관련하여 영향을 받는 중요한 전력품질은 연계점의 전압변동과 출력전류의 고조파 함유를 생각할 수 있으며 또한 복합 분산전원 시스템에서는 축전지의 수명과 관련한 충방전시간 및 충방전전력을 전체 시스템의 성능을 비교하기 위한 주요한 지표로 설정하였다. 표 1은 그 중 대표적인 지수들을 정리하여 나타낸 것이며 각 지수별 상세 결과는 참고문헌 [2]에 상세히 나타내었다.



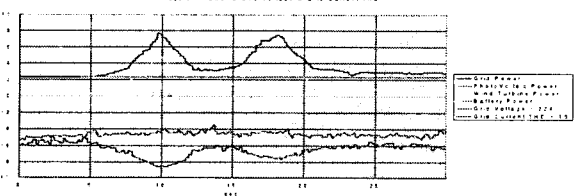
〈그림 3〉 Case 1 : 공통 직류단 정전압(430V) 제어 실험 결과



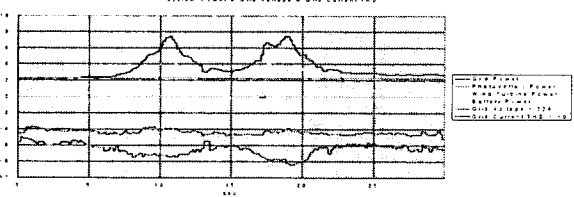
〈그림 4〉 Case 2 : 정출력(3kW) 제어 실험 결과



〈그림 5〉 Case 3 : 전력평준화($f_c = 0.01$ Hz) 제어 실험 결과



〈그림 6〉 Case 4 : 전력평준화($f_c = 0.10$ Hz) 제어 실험 결과



〈그림 7〉 Case 5 : 전력평준화($f_c = 1.00$ Hz) 제어 실험 결과

case 1의 공통 직류단 일정 제어의 경우는 에너지원으로부터 발생된 전력을 순서로 연계계통으로 출력하므로 출력변동이 크며 이에 따른 전류 고조파 함유율도 크다. 따라서 출력변동, 고조파 함유율 등 전력품질을 악화

시키는 요인을 제공할 수 있다. 그러나 발생된 전력을 순서로 연계계통에 주입하므로 축전지는 사용하지 않아 축전지의 수명 등에서는 장점이 있다. case 2의 연계계통 출력 일정 제어의 경우는 에너지원으로부터 발생된 전력과는 무관하게 연계계통에 일정한 출력을 발생시키므로 출력변동이 없으며 따라서 전류 고조파 함유율과 같은 전력품질 측면에서는 매우 우수한 결과를 보인다. 그러나 발생된 모든 전력이 계통으로 주입되지 않고 많은 부분의 전력이 축전지에 충전되고 있음을 알 수 있다. 이는 축전지의 빈번한 사용으로 인하여 수명을 단축시키는 원인이 된다. case 3에서 case 5의 전력평준화 알고리즘 제어의 경우는 에너지원으로부터 발생된 순시전력의 일부를 전력평준화 알고리즘을 이용하여 연계계통으로 출력하여 그 중 일부는 축전지 혹은 공통 직류단 캐패시터에 저장하였다가 출력하는 동작을 한다. 따라서 필터의 차단 주파수에 따라 출력변동의 특성과 축전지의 사용량이 변화함을 실험결과를 통해 확인할 수 있었다. 실험결과로부터 시스템 응용 특성에 따른 적절한 전력평준화 알고리즘의 저주파 필터 차단 주파수 (f_c 0.1Hz ~ 1.0Hz)를 선정하면 안정적인 출력변동과 전력품질을 확보할 수 있으며 또한 축전지 사용량도 적절히 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 주요 실험 결과

	평균 출력	출력 변동	전압 변동률	THD 평균	THD 변동	방전량	충전량
Case 1	5.19kW	6.7kW	0.64%	3.61%	5.70%	0.0Wh	0.0Wh
Case 2	2.95kW	0.6kW	1.60%	3.97%	1.30%	0.0Wh	16.7Wh
Case 3	4.33kW	4.2kW	0.78%	3.32%	2.10%	0.7Wh	5.6Wh
Case 4	3.73kW	5.4kW	0.82%	3.56%	3.80%	0.0Wh	0.0Wh
Case 5	3.61kW	5.2kW	0.68%	3.50%	3.40%	0.0Wh	0.0Wh

3. 결 론

본 논문에서는 태양광과 풍력, 축전지 시스템으로 구성된 계통연계형 복합 분산전원 시스템의 구성과 실험 결과를 제시하였다. 본 논문에서 제시하고자 한 계통연계형 태양광-풍력-축전지 복합 분산전원 시스템은 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 에너지원으로 사용하였으며 에너지 저장 장치로는 축전지 시스템을 사용하였다. 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템, 축전지 시스템은 모두 공통 직류단에 연결되어 있으며 계통과 연계 전을 위한 계통연계 인버터 시스템을 공통 직류단과 계통 연계점 사이에 적용하여 연계점의 출력을 제어하였다. 또한 분산전원 통합제어 시스템을 개발하여 전체 복합 분산전원 시스템의 출력과 각 모듈의 상태를 감시, 제어하는 기능을 하도록 하였다. 개발된 복합 분산전원 시스템에 전력 평준화 알고리즘을 적용한 실험 결과의 제시를 통해 제작된 시스템 및 전력 평준화 알고리즘의 유용성을 검증하였다. 본 논문에서 제시된 복합 분산전원 시스템은 복수의 에너지원을 이용하므로 전력공급의 신뢰도를 향상시킬 수 있어 상용전력이 공급되지 않는 도서지역 등에 단독 운전용으로 적용이 가능하다. 또한 향후 진행될 디젤엔진 발전기 및 마이크로터빈과의 복합 분산전원 시스템 연구 및 마이크로그리드 연구에 본 논문의 연구 결과가 활용될 수 있다.

〈참고 문헌〉

- [1] 자율적 수요관리형 마이크로그리드 개발 최종보고서, 한국전기연구원, 2006년 1월
- [2] 계통연계형 분산전원 통합 제어시스템의 개발 최종보고서, 한국전기연구원, 2006년 5월
- [3] Lasseter, et. al., "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources", The CERTS Microgrid Concept, April 2002
- [4] Opportunities for Micropowties and Fuel Cell/Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications, Final Report to Lockheed Martin Energy Research Corporation and the DOE Office of Industrial Technologies, January 2000
- [5] Ahmad Zahedi, Akhtar Kalam, "Balancing Cost and Performance in a PV/Wind/Battery Hybrid Power System", In Proceedings of the Australasian Universities Power Engineering Conference, pages 263-268, Brisbane, Australia, 24-27 September 2000.
- [6] Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages, July 2003, N. Argaw, R. Foster and A. Ellis, National Renewable Energy Laboratory
- [7] 2002 NREL WT/Diesel Hybrid Test facility
- [8] E. Koutroulis, et. al., "A Hybrid PV-Wind Generator System Using a Maximum Power Point Tracking Technique", Euro Caribbean Island RES Conference, May 30-31, St. Lucia, 2002
- [9] DC-Bus Hybrid Power Systems, Village Power 2000 workshops and conference, The World Bank in Washington, D.C., USA, December 4-7, 2000
- [10] D. Corbus, C. Newcomb, S. Friedly, "Integration of Xantrex HY-100 Hybrid Inverter with an AC Induction Wind Turbine", National Renewable Energy Laboratory Report, May 2003.