

태양광 발전과 연계된 직류배전 시스템의 특성연구

서현욱, 변병주, 이영진, 김동진*, 최규하
건국대학교, 선광 LTI*

Characteristics Study of DC Distribution System Interconnected with PV System

H U Seo, B J Byen, Y J Lee, D J Kim*, G H Choe
Konkuk University, Sun Kwang LTI*

ABSTRACT

Existing AC distribution system lower the efficiency of the commercial power, and also generate the conversion loss of renewable energy. In this study, DC distribution system interconnected with PV system is produced, and it is studied about characteristics of the system through the experiments which are used load of 3[kW].

1. 서론

최근 전력전자장치를 사용한 디지털 제품 및 LED조명 부하들의 이용이 급속히 증가하는 가운데 배전에 있어서 직류의 도입을 위한 연구 검토가 많이 진행되고 있다. 요컨대, 지금 사용하고 있는 교류 전원기반 장치들은 먼저 교류를 공급받고, 기기내 부착된 AC-DC컨버터 즉, 어댑터를 이용하여 필요한 전압레벨의 직류로 변환하고 있다. 통상 이러한 부하의 유형은 매우 많은데, TV, AV기기, PC, LED램프 등 가전용 기기 등을 들 수 있다. 이러한 유형의 부하에는 전술한 어댑터와 같은 교류-직류변환기가 내장되어 있고 그 효율은 대략 80[%]의 수준이다. 즉 공급전력 중 20[%] 정도가 열 등의 손실로 낭비된다는 것이다.^[1] 또한 최근 신재생에너지의 설치가 증가하는 가운데 기존의 교류배전 방식으로는 직류로 출력되는 신재생에너지와 계통과의 연계를 위해 추가적인 변환손실을 야기하게 된다. 이와 같은 문제점은 직류배전시스템을 설치함으로써 해결할 수 있으며, 신재생에너지 연계시 10[%]까지 에너지변환손실을 감소시킬 수 있다. 또한 직류로 배전할 경우 향후 디지털 부하내의 AC-DC 컨버터를 제거함으로써 얻을 수 있는 부가적인 배전효율 상승, 전력품질, 신뢰성 및 전압 안정성의 관점에서 우수할 뿐만 아니라 심지어 인체의 안전성까지 뛰어난 것으로 평가되고 있다. 향후 앞서 전술한 디지털 관련 제품들의 사용이 급속히 증가되고 가정 내에 신재생에너지의 사용의 증가를 고려하면 최근 많이 연구되고 있는 직류전원 공급방식이 매우 효율적인 급전방식이 될 수 있을 것으로 예상된다.^[2]

본 논문에서는 이러한 증가 추세를 고려하여 태양광 발전과 연계된 직류배전시스템을 제작하여 시스템의 특성을 연구한다.

2. 시스템의 구성 및 제어

2.1 시스템의 구성

시스템의 구성은 그림 1과 같으며, 상용전원 및 직류 부하에 모두 전력을 공급하기 위해 양방향 PWM 컨버터, 승압 컨버터 및 강압 컨버터 등으로 구성된다. 교류전원으로는 단상교류 220[V]를, 신재생에너지원으로는 PV를 각각 사용할 수 있다.

여기서, PWM컨버터는 PV에서 에너지를 공급할 수 없을 경우 상용전원으로부터 에너지를 공급하도록 해 주고, 강압컨버터가 직류부하에 적합한 전압레벨로 변환시켜주게 된다. 만약 PV로부터 발전된 에너지가 직류부하 소비전력보다 많은 경우 양방향 PWM 컨버터를 통해 상용전원으로 에너지를 발전하게 된다.

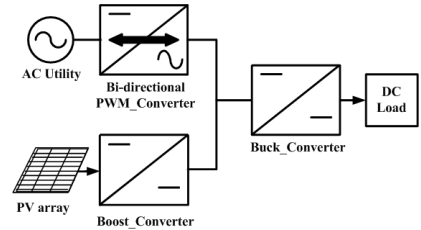


그림 1 직류배전 시스템의 기본 개념도

Fig. 1 Basic concept of DC distribution system

2.2 시스템의 제어

전체 시스템의 제어는 직류링크단의 전압제어를 중심으로 이루어지며, 제어블록도는 그림 2와 같다. PV용 부스트 컨버터는 태양광 발전전력의 최대 전력점을 추종하여 직류부하 또는 계통으로 에너지를 공급하며, 시스템에 사용한 MPPT 알고리즘은 P&O법으로 전압기준신호(v_{pv}^*)를 생성한다.

양방향 PWM컨버터는 직류링크 전압제어와 계통측 전류제어를 통해 식(1)과 같이 PV-array 출력과 계통전력 그리고 직류부하의 소비전력 사이의 차를 순시적으로 영이 되도록 제어를 하여 직류부하의 소비전력과 PV-array의 발전전력에 따라 계통으로 잉여전력을 발전하거나, 부족전력을 계통에서 공급받는다.

$$P_{utility} = P_{PV} - P_{DC_load} \quad (1)$$

마지막으로 Buck 컨버터는 직류부하에 일정 직류전압을 공급하기위해 정전압제어를 수행하며, 외부부프에 전

압제어기, 내부루프에 전류제어기를 갖는 이중제어루프로 구성되어 있다.

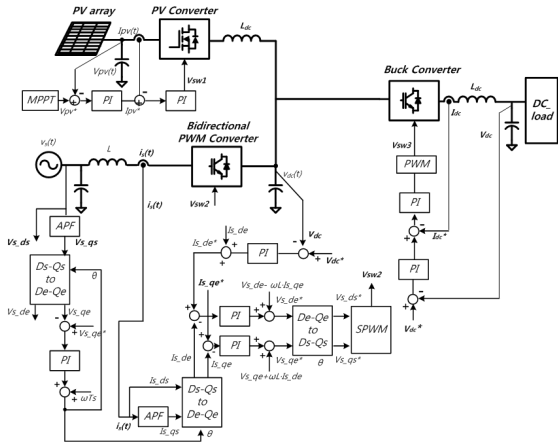


그림 2 전체시스템의 제어블록도
Fig. 2 Control block of the entire system

3. 시스템의 동작 및 특성

3.1 시스템의 동작

전체 시스템의 동작은 일사량 및 직류부하의 소비전력에 따라 그림 3과 같이 4가지 동작으로 구분할 수 있으며, 일사량이 없어 상용전원에서 모든 소비전력을 공급하는 영역(모드1), 직류부하의 소비전력이 없어서 PV출력을 모두 상용전원으로 발전하는 영역(모드2), PV출력과 직류부하의 소비전력이 일치하는 영역(모드3) 그리고 PV출력과 직류부하의 소비전력에 차이가 발생하여 양방향 PWM 컨버터가 수시로 잉여전력을 발전 하거나 부족한 전력을 공급하는 영역(모드4)으로 나눌 수 있다. 실제로 모드3의 동작은 거의 발생하지 않으며, 모드4의 동작이 대부분을 차지한다. 전체 시스템의 동작의 변환은 앞서 기술한 양방향 PWM 컨버터의 전력제어를 통해 일사량 및 직류부하의 소비전력에 따라 동작이 원활이 변환된다.

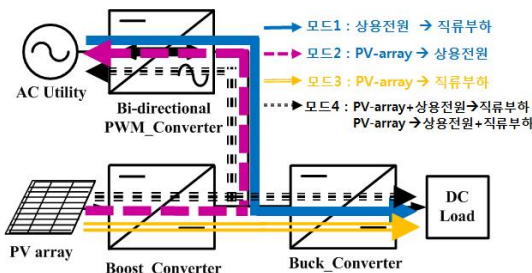


그림 3 전체 시스템의 동작 블록도
Fig 3. Operational block of the entire system

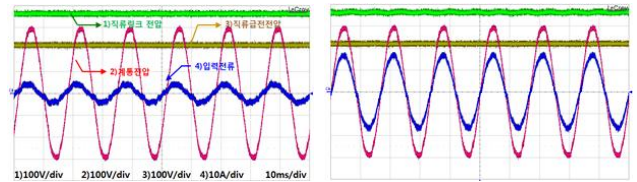
3.2 시스템의 특성

기존의 AC배전 방식의 경우 기기마다 장착한 AC-DC 컨버터를 이용하여 적정 DC로 변환하여 사용하기 때문에 대부분의 경우 그 변환 효율이 낮으며, 또한 다이오드 정류과정에 발생하는 입력 측의 고조파 전류로 인해 다른 제품에 고조파 전압을 발생할 우려가 있다. 또한 태양광 시스템과 연계시 상용전원에 연계하기 때문에 변환단계의 증가로 추가적인 변환손실이 발생한다. 하지만 그림 1과 같은 직류배전 시스템은 DC전원으로 구동 가능한 제품에 PWM 컨버터와 신재생에너지에서 발

전된 전원을 공급 하므로 계통전류의 고조파를 감소시킬 수 있으며, 향후 입력단의 정류기를 제거하여 소비전력을 절감할 수 있다. 또한 신재생에너지의 변환단계의 감소로 변환손실을 줄일 수 있다.

4. 시스템의 실험

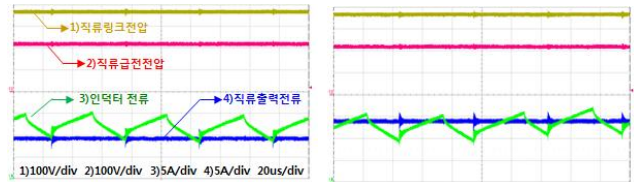
급전시스템은 3[kW]급 PV용 승압 컨버터와 3[kW]급 양방향 PWM컨버터 그리고 DC부하에 적정 전압(DC 220V)을 배전하기 위한 강압 컨버터로 구성되었다. 실험에 사용한 부하는 0[kW] ~ 3[kW]의 저항부하를 사용 하였으며, PV는 3[kW]급 시뮬레이터를 사용하였다. 그림 4의 실험 파형은 직류배전시스템이 모드 1로 동작하였을 때의 입출력 파형으로 3[kW]직류부하일 때 입력전류 THD 3.5[%]이며, 출력전압 리플은 2[%]미만이며, 시스템 효율은 91.2[%]로 측정되었다. 그림 5의 파형은 시스템 동작 모드 3의 경우로 PV출력이 직류부하에서 모두 소비될 경우로 3[kW]에서 시스템 효율 91.0[%]의 효율을 갖는다.



(a) 직류부하 500[W] (b) 직류부하 3000[W]

그림 4 모드 1의 경우 시스템의 입출력

Fig. 4 Input and output of the system in case of the mode one



(a) 직류부하 2000[W] (a) 직류부하 3000[W]

그림 5 모드 3의 경우 시스템의 입출력

Fig. 5 Input and output of the system in case of the mode three

5. 결론

본 연구에서는 PV발전 시스템과 연계된 직류배전 시스템을 제작하여, 시스템의 입출력 특성을 실험을 통해 확인 하였다. 모드1(상용전원→직류부하)의 경우 시스템의 입력전류 THD는 5[%] 미만이며, 역률은 0.95이상으로 고조파 전류가 저감됨을 입증 하였다. 또한 모드3(PV-array→직류부하)의 실험을 통해 PV시스템을 직류링크에 연계함으로써 기존의 방식에 비해 변환단계가 축소하여 PV 출력의 이용률 및 효율을 향상시킬 수 있음을 입증하였다.

이 논문은 에너지·자원 기술개발 지원 사업에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] William Tschudi Lawrence, "DC Power for Improved Data Center Efficiency," January 2007
- [2] Daniel Nilsson, "Efficiency analysis of low- and medium-voltage dc distribution systems", IEEE and Ambra Sannino, Member, IEEE