

전원 및 부하모델링 기반의 양방향 DC-DC 컨버터 최적 알고리즘

문희성, 최규영, 이병국
성균관대학교

Optimal Bidirectional DC-DC Converter Algorithm Based on Source and Load Modeling

Hee-Sung Moon, Gyu-Yeong Choe, Byoung-Kuk Lee
Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문에서는 하루 24시간동안의 전원의 특성과 사용시간, 사용량을 고려한 부하를 전기적으로 모델링 하고 그를 통해 양방향 DC-DC 컨버터가 최적으로 동작할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 양방향 DC-DC 컨버터의 최적 알고리즘 제안을 위해 전체 시스템의 에너지 밸런싱에 초점을 맞춰 분석하였으며 하루 중 잉여 및 부족 전력에 따라 양방향 DC-DC 컨버터를 제어하도록 시뮬레이션을 구성하였고 그 결과를 통해 타당성을 검증하였다.

- 10분단위의 일사량과 온도 데이터를 계절별/시간별 평균데이터로 변환
- 계절별 평균 일사량과 온도를 하루의 데이터로 나타내어 시물레이션에 적용

태양전지는 일사량의 모뎀온도보다 큰 영향을 미치기 때문에 태양전지로부터 발전되는 발전전력 양상은 일사량과 유사하게 되어 그림 1과 비슷한 추이를 보인다.

1. 서 론

최근 다양한 형태의 에너지를 복합적이고 효과적으로 활용하기 위해 하이브리드 시스템에 대한 관심이 고조되고 있으며 무정전 전원시스템, 배터리 충·방전 시스템, 연료전지와 태양전지 등 대체에너지를 위한 독립전원시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 낙도와 같이 상용전원의 공급이 불가능한 도서지역에서는 태양광발전이나 디젤발전시스템과 같은 독립전원이 필수적이고, 현재 설치되어 운용되고 있다 [1]-[3].

태양광 발전의 경우 기상변동에 따라 출력이 예민하게 변화하기 때문에 24시간동안의 일사량과 온도의 데이터를 바탕으로 한 발전 양상을 가지고 연구를 진행하여야 하며 오랜 기간에 걸쳐 누적된 일사량 데이터를 바탕으로 할 경우 발전 양상의 신뢰도 향상에 도움이 된다.

계통연계형 태양광 발전과 다르게, 독립형 태양광 발전의 경우 자연조건에 의존하는 특성으로 인하여 전력공급의 안정성 및 지속성에 있어 단점이 있으며 발전전력이 직접 부하에 전달되기 때문에 태양전지로부터의 출력전력과 부하의 필요전력 사이의 에너지 밸런스가 무엇보다 중요하다. 독립형 태양광발전 시스템에서 출력전력과 필요전력 사이의 에너지 총 합이 0이 아니므로 에너지 저장장치가 필수적으로 필요하게 되며 정격부하를 초과하고 남은 잉여전력은 배터리에 충전되고, 부하량보다 부족하면 방전하도록 운전한다. 현재까지 진행된 많은 연구들은 순시적으로 변하는 실제 일사량과 부하량을 고려한 것이 아니라 일사량을 일정하게 두거나 스텝으로 변화시켰기 때문에 실제 에너지 밸런싱 양상과 그에 따른 양방향 DC-DC 컨버터에 대한 검증이 이루어 지지 않은 실정이다.

따라서 본 논문에서는 2007년도의 전체 일사량과 온도 데이터를 바탕으로 하여 하루 24시간동안의 평균적인 발전패턴과 하루 동안 가정에서 소비하는 부하들을 전기적으로 모델링한 부하모델링을 이용하여 하루 동안의 실제 에너지 변동 양상을 추출해냈으며 실시간으로 변하는 입력전력과 부하용량의 변동에도 항상 일정한 전압을 공급하도록 DC링크를 제어함으로써 에너지 밸런싱을 맞추도록 제안하였으며 시물레이션을 통해 이를 검증하였다.

2. 본 론

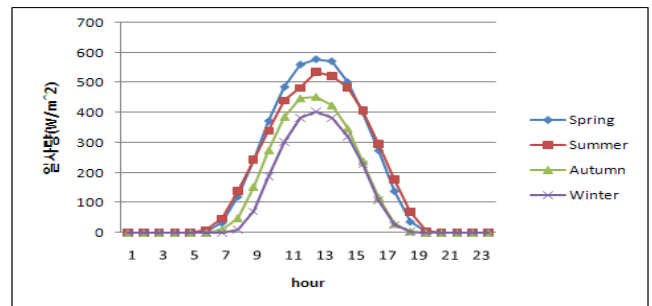
2.1 전원 및 부하모델링 [4]

출력전력과 부하의 필요전력 사이의 균형이 중요한 독립형 태양광발전의 경우 발전양상과 사용전력 추이를 살펴보기 위해서 전원인 태양광발전의 모델링과 부하의 모델링이 필요하게 된다. 본 절에서는 2007년의 신뢰도 있는 자료를 이용하여 24시간동안 기상조건을 고려한 실제적인 태양전지 시물레이터를 구현하였으며, 또한 24시간동안 가정용 6대부하의 사용패턴 통계자료를 이용하여 부하모델링을 수행하였다.

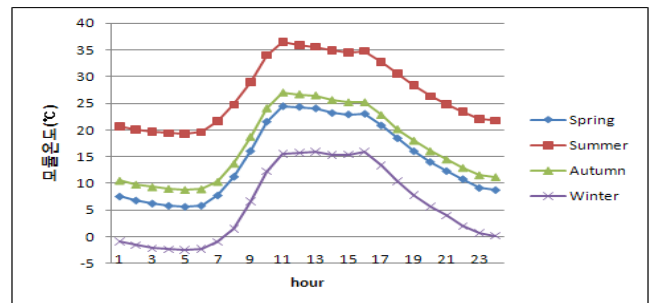
2.1.1 기상조건을 고려한 태양전지 시물레이터

본 논문에서 시물레이션 시 적용한 일사량과 온도는 다음과 같은 방법으로 구하였다.

- 2007년 수원의 10분단위로 나타내어진 일사량과 온도 데이터 수집
- W/m^2 으로 단위 변환



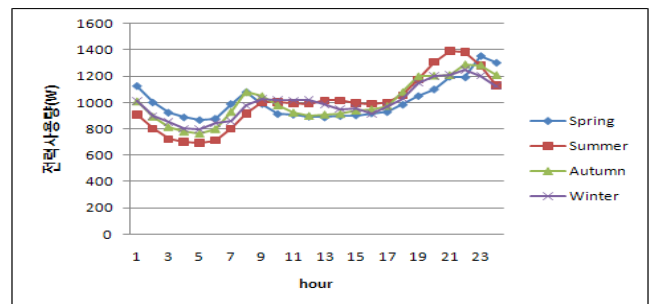
〈그림 1〉 시간별 일사량 변화



〈그림 2〉 시간별 모듈온도 변화

2.1.2 6대 가전부하 모델링

가정에서 사용하는 부하들(가정용 부하)은 대부분 TV, 냉장고, 컴퓨터 등과 같은 정류부하이다. 에너지관리공단의 자료를 바탕으로 특별히 일일 가전기기 사용량의 62%를 차지하고 있는 가정용 6대 부하를 선택하여 계절별 소비전력을 그림 3에서 보여주고 있다.



〈그림 3〉 시간별 부하 전력사용량

여기서 말하는 가정용 6대 부하는 냉장고, TV, 밥솥, 컴퓨터, 세탁기, 에어컨이다. 봄, 가을, 겨울은 비슷한 패턴을 보이고 있으나 여름에는 에어컨의 사용으로 20시쯤에 더 많은 전력을 사용하고 있다. 가정용 부하의 사용시간과 정격소비전력을 바탕으로 R과 C의 수동소자로 모델링을 하여 그 값을 결정하였으며 PSIM을 통해 모델링을 수행하였다.

2.2 배터리 충·방전

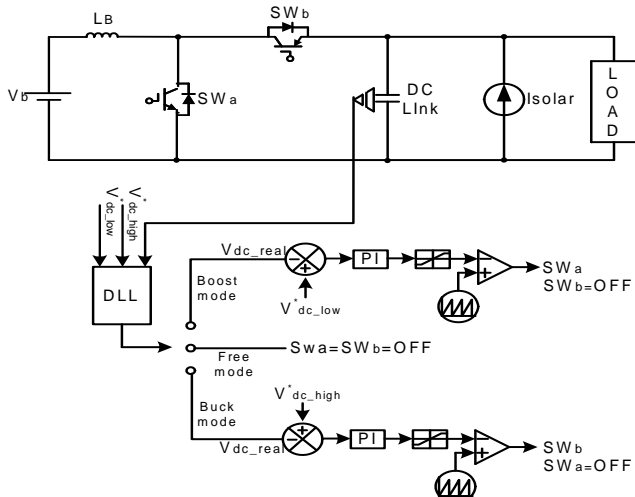
그림 4는 에너지 밸런싱 레벨을 보여주고 있으며 이것은 실제 일사량과 온도에 따른 발전량과 순시적인 부하 소비량을 바탕으로 하여 24시간 동안의 양상을 나타내고 있다. 배터리는 발전전력과 소비전력사이의 차이를 저장하는 에너지 밸런싱을 맞춰주는 설비이므로 그림 4와같이 잉여 전력이나 부족전력이 생겨서 남겨나 부족하게 되는 경우 배터리에 충전·방전을 하게 된다. 충전 및 방전전력이 양과 음의 2상한 조건을 가지므로 배터리 시스템 또한 2상한 특성을 가져야 한다. 따라서 배터리 시스템은 2상한 특성을 가지는 양방향 DC-DC 컨버터를 사용하였으며, 양방향 DC-DC 컨버터를 통해 배터리로 그림 4에서 볼 수 있는 충전전력과 방전전력만큼을 전달하게 된다. 이를 통해 배터리의 충전·방전시퀀스가 그림 4와 비슷한 양상으로 나오게 될 것임을 예상할 수 있다.



〈그림 4〉 봄의 충전과 방전의 하루 양상

2.2.1 양방향 DC-DC 컨버터의 충·방전 시스템 제어

독립형 태양광 발전은 부스트 컨버터, 인버터, 양방향 DC-DC 컨버터, 배터리, 부하로 이루어져 있으며 부스트 컨버터에서는 MPPT제어, 인버터는 AC전압제어를 하고 있다. 양방향 DC-DC 컨버터에서 DC링크를 제어하지 않을 경우, DC 링크는 MPP전압이 출력되게 되므로 만약 낮은 MPP전압일 때는 220V_{rms} 교류 전압을 확보하기 어려워진다. 따라서 DC Link의 전압이 일정한 범위에서 운전하도록 양방향 DC-DC 컨버터를 제어하여 DC Link 전압을 적절한 범위로 안정화 시키는 방식을 사용하였다.



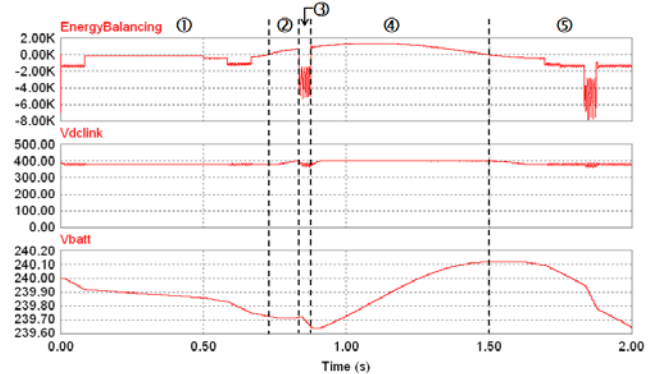
〈그림 5〉 양방향 DC-DC 컨버터의 제어 블록도

그림 5는 양방향 DC-DC 컨버터 제어 블록도이다. DC Link 센싱값을 기준으로 부스트 모드, 벡모드, 자유모드로 운전하도록 PSIM의 DLL 안에서 시퀀스를 정해주었으며 이런 시퀀스로 동작할 시 임의로 주어진 DC Link의 기준 범위(380V~400V)안에서 DC Link 값이 유지되도록 양방향 DC-DC 컨버터 제어를 하고있다. DC Link값이 380V~400V 일때는 Boost 역할을 하는 스위치 SWa와 Buck 역할을 하는 스위치 SWb를

모두 off 상태로 두어서 DC Link가 배터리와 독립적으로 운전하도록 제어하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

전원 및 부하모델링의 시뮬레이션 결과로 그림 6에서 EnergyBalancing과 같은 파형을 얻을 수 있으며 하루 24시간을 시뮬레이션 2초에 동기화 시켜 시뮬레이션 수행하였다. EnergyBalancing에서 보이는 파형이 음의 값일 때는 양방향 DC-DC 컨버터가 부스트 모드로 동작하게 되어 배터리에서 전력 공급으로 인해 DClink는 380V로 유지되며 이때의 배터리 전압은 감소하게 된다. EnergyBalancing이 양의 값일 때는 양방향 DC-DC 컨버터가 벡 모드로 동작하게 되어 배터리 전압은 상승하게 됨을 그림 6을 통해 확인 할 수 있다. 그림 6에서 ①, ③는 부스트 모드, ⑤는 자유모드 동작 후 부스트 모드로 동작한다. 또한 ②는 자유모드로 동작 후 벡 모드로 동작하게 되며 ④는 벡 모드로 동작한다.



〈그림 6〉 DC link 및 배터리 전압

Vdclink로 표현되어 있는 DC Link 전압은 일사량이 없는 시간인 1시~6시, 19시~24시에도 380V로 제어되므로 인버터 출력단에 220V_{rms}값으로 전압제어가 정상적으로 가능하고 이 때 부하 전력소비량은 배터리에서 충당하고 있다. 또한 발전이 이루어지고 있는 6시부터 19시까지는 DC Link가 과도하게 상승하지 않도록 400V로 제어 하고 있으며 그에 따라 정상적으로 동작함을 확인가능 하다. 하루 동안 배터리 전압 양방향 DC-DC 컨버터의 제어로 인해 그림 4와 유사하게 출력됨을 검증할 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 하루동안의 일사량 및 온도의 패턴을 고려해 얻은 실제와 유사한 태양광 발전 전력의 양상과 하루동안의 가정에서의 부하 사용량의 비교를 통해 독립형 태양광 발전의 에너지 밸런싱에 대해 분석하였다. 또한 기존 연구에서는 고려하지 않았던 실제적인 에너지 밸런싱에 따른 양방향 DC-DC컨버터의 최적 운전 알고리즘에 고찰하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였으며 적절한 잉여 및 부족전력의 제어를 통해 독립형 태양광 발전의 안정적인 전력공급이 가능함을 검증하였다. 본 논문을 통해, 배터리의 용량이나 크기가 에너지 밸런싱에 큰 영향을 받기 때문에 독립형 태양전지의 용량을 선정 할 경우 총 부하량과 근접하게 설계를 하여 에너지 밸런싱의 총 합이 0이 되게 하는 것이 중요하게 됨을 예측 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. H. Wai, W. H. Wang, and C. Y. Lin, "High-performance stand-alone photovoltaic generation system," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 1, pp.240-250, Jan. 2008.
- [2] 정삼민, 조진상, 최세환, 한수빈, "하이브리드 에너지 시스템에서 양방향 DC-DC 컨버터에 의한 축전지 제어 기법," 전력전자학술대회 논문집, 359-363, 2004
- [3] 정병환, 조준석, 고재석, 최규하, 김응상, 이창성, "공통 DC단을 갖는 복합발전시스템을 위한 전력균형제어에 관한 연구," 전력전자학술대회 논문집, 181-185, 2002
- [4] 문희성, 최규영, 이병국, "일사량 및 실부하 패턴을 고려한 태양광 시스템 운전기법," 대한전기학회, pp.69-77, 2008