

웨어러블 충전 어플리케이션의 태양전지 배열에 따른 효율 분석

이현지, 김예린
울산과학기술대학교

Efficiency Analysis of Photovoltaic Configurations in Wearable Charging Applications

Hyunji Lee, Katherine A. Kim
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

ABSTRACT

요즘, 태양에너지를 이용하는 웨어러블 전자기기가 많이 개발되고 있다. 이런 기기들은 태양전지에 도달하는 태양빛이 달라질 때, 태양전지와 컨버터의 연결방법이 시스템 효율에 많은 영향을 끼친다. 그래서 이 연구에서 9개의 테스트 경우를 5개의 다른 태양전지와 컨버터 연결방법으로 가정하여 전체 시스템 효율을 계산하였다. 5개의 연결방법은 직렬, 병렬, cascaded 컨버터, differential power processing (DPP) 컨버터의 직렬, DPP 컨버터의 병렬연결이다. 9개의 테스트 경우에서, 태양전지에 태양빛이 균일하게 도달할 경우, 병렬연결과 DPP 컨버터의 병렬연결이 가장 높은 효율을 보여주었다. 하지만 태양빛이 불균일하게 도달할 경우, DPP 컨버터의 연결이 가장 높은 효율을 보여주었다. 컨버터의 효율을 85%로 가정하면 DPP 컨버터를 병렬로 연결했을 경우, 이상적 경우를 제외한 8개의 테스트 경우에서 전체 시스템의 평균 효율은 99.36%였다. (이 계산은 Maximum Power Point Tracking 손실을 포함하지 않았다.)

1. 서론

모바일 기기가 우리 생활에 깊숙이 자리 잡게 되면서 모바일 기기의 충전 문제가 더욱 부각되고 있다. 일상생활에서 모바일 기기를 사용하는 시간이 늘어날수록 배터리의 방전 또한 빠르게 이루어지기 때문에, 모바일 기기 사용자들은 항상 기기의 충전이나 보조 배터리를 챙겨야 한다. 하지만 충전을 사용하기 위해서는 전원 콘센트를 사용해야만 한다. 그래서 콘센트 대신, 주위에 만연한 태양 에너지를 이용해 충전할 수 있는 태양전지 가방을 소개한다.

태양전지 가방은 태양전지를 가방 표면에 붙여 태양 에너지를 이용해 모바일 기기를 충전할 수 있는 어플리케이션이다. 하지만 가방 사용자가 가방을 매고 있을 경우 사용자의 팔에 태양전지의 일부분이 가려질 수 있고, 가방에 물건을 넣은 경우 가방 표면이 곡선을 이루어 태양빛의 입사각이 달라질 수 있는 등 태양전지에 태양빛이 불균일하게 도달할 수 있다. 이 경우, 태양전지와 컨버터의 연결 방법에 따라 전체 시스템 효율이 많은 영향을 받는다. 이 논문에서 컨버터의 연결 방법과 그에 따른 시스템 효율에 대해 소개하려 한다.

2. 본문

2.1 웨어러블 충전 어플리케이션 소개

그림 1에 보이는 것처럼 가방 표면에 24개에 태양전지를 붙여 웨어러블 PV 시스템을 구성하였다.

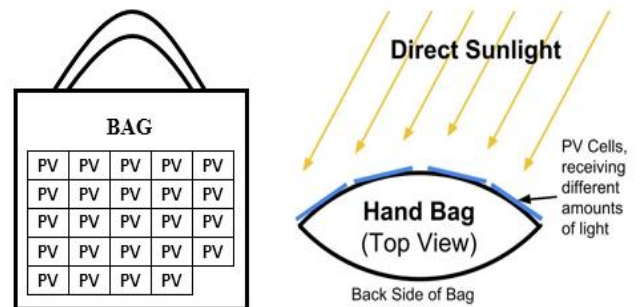


그림 1 웨어러블 Photovoltaic (PV) 충전 시스템
Fig. 1 The wearable charging PV system used in this research

다양한 경우의 시스템 효율을 계산하기 위해 표 1에 보이는 것처럼 총 9개의 테스트 경우를 가정해 각 경우마다 태양전지에 도달하는 태양빛을 직접 측정하였다. Case 1의 이상적 경우는 24개의 태양전지에 도달하는 태양빛이 모두 1,000W/m²라고 가정하였다. 여기서 사용된 태양전지는 Matlab을 통해 0.26W에서 Maximum Power Point (MPP)를 갖도록 모델링되었다. 따라서 24개의 태양전지가 모두 1,000W/m²의 태양빛을 받을 경우 총 0.26 X 24 = 6.24W의 전력을 가질 수 있다.

표 1 9개 경우의 분류 기준
Table. 1 The 9 different cases

Case 1	이상적		
Case 2	맑은 날	No Shading	빈 가방
Case 3			물건이 있는 가방
Case 4		Partial Shading	빈 가방
Case 5	물건이 있는 가방		
Case 6	흐린 날	No Shading	빈 가방
Case 7			물건이 있는 가방
Case 8		Partial Shading	빈 가방
Case 9			물건이 있는 가방

그리고 이 9개 경우의 전체 시스템 효율을 각각 5개의 태양 전지와 컨버터의 연결방법으로 계산하여 총 45가지 경우의 시스템 효율을 계산하였다. 5개의 태양전지와 컨버터의 연결방법은 1) 태양전지의 직렬연결, 2) 태양전지의 병렬연결, 3) Cascaded 컨버터와 연결, 4) Differential Power Processing (DPP) 컨버터의 직렬연결, 5) DPP 컨버터의 병렬연결 이다. 전체 시스템 효율의 계산은 Matlab을 통해 계산되었고, 계산 과정에서 컨버터의 효율 또한 70%부터 100%까지 5% 단위로 증가시키며 컨버터 효율 변화에 따른 PV 시스템의 효율 변화도 계산하였다.

2.2 시스템 효율 계산 결과

간단한 비교를 위해 컨버터의 효율은 85%로 가정하고 Case 3과 Case 5의 결과를 비교하고자 한다. (이 효율 계산은 MPP Tracking (MPPT) 손실을 포함하지 않았다.) 두 경우 모두 맑은 날, 물건이 들어 있는 가방이며 차이점은 Partial shading의 유무이다. 가방에 물건이 들어있을 경우 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 가방의 표면이 곡면을 이루기 때문에 태양빛의 입사각이 달라져 태양전지가 불균일한 태양빛을 받게 된다.

Partial shading이 없는 Case 3의 경우, 태양빛이 비교적 균일하게 태양전지에 도달하기 때문에 표 2에 보이는 것처럼 대부분 높은 효율을 보여주었고, 특히 병렬연결과 DPP 병렬연결이 99% 이상의 효율을 보여주었다.

하지만 Case 5처럼 Partial shading으로 인해 태양빛이 불균일하게 태양전지에 도달할 경우 연결방법에 따른 시스템 효율이 많은 차이를 보였다. 태양전지를 직렬로 연결했을 경우 시스템 효율은 약 14%로 매우 낮은 효율을 보였으며, 병렬로 연결했을 경우도 약 87%로 Case 3에 비해 13% 낮은 효율을 보였다. 하지만 DPP 컨버터를 연결한 경우 모두 90% 이상의 효율을 나타내었으며, 특히 DPP 병렬연결의 경우 여전히 99%의 효율을 보여주었다.

표 2 Case 3, 5, 9의 전체 시스템 효율
Table. 2 The system efficiencies of the case 3, 5 and 9

	직렬	병렬	Cascaded	DPP 직렬	DPP 병렬
Case 3	95.33%	99.95%	85.00%	98.85%	99.82%
Case 5	14.23%	86.56%	85.00%	94.84%	99.37%
Case 9	45.94%	84.61%	85.00%	93.04%	97.73%

각 태양전지가 받는 태양빛의 불균일함이 커지면 커질수록 태양전지와 컨버터의 연결방법에 따른 전체 시스템의 효율 차이도 커졌다. 예를 들어 Case 5와 Case 9의 경우 같은 조건을 가지고 있지만 날씨가 맑고 흐린 차이가 있다. 이 경우 맑은 날이 햇빛이 더 강하기 때문에, partial shading으로 인해 햇빛을 못 받는 태양전지와 온전히 태양빛을 받는 태양전지 간의 태양빛의 차이가 더 크다. 그래서 Case 5의 경우 가장 높은 시스템 효율과 가장 낮은 시스템 효율의 차이는 약 85%이지만 Case 9의 경우는 그 차이가 52%에 불과했다.

Cascaded 컨버터의 경우 어느 경우에도 시스템 효율은 정확히 가정된 컨버터 효율과 일치했다. 따라서 컨버터의 효율이 높아지면 높아질수록 더 높은 시스템 효율을 얻을 수 있었다. 웨어러블 충전 어플리케이션의 경우 작은 전력을 다루기 때문에 컨버터의 효율을 85%라고 가정했지만, 만약 컨버터의 효

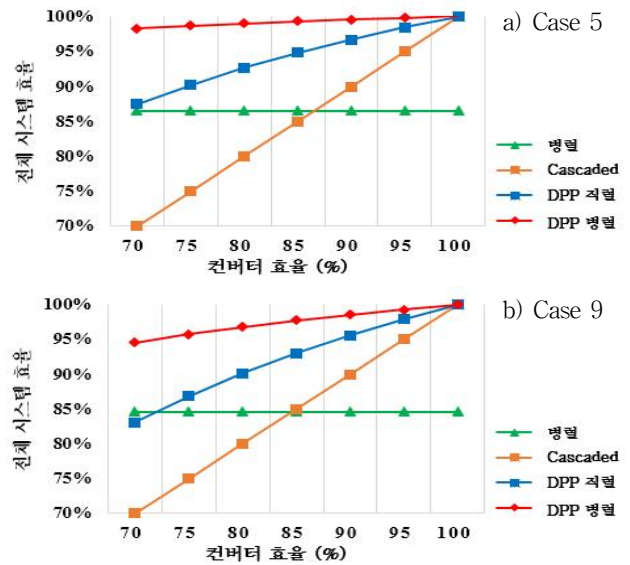


그림 3 Case 5와 Case 9의 컨버터 효율 변화에 따른 시스템 효율
Fig. 3 The system efficiencies of Case 5 and Case 9 depending on the various converter efficiencies

율이 90% 이상 적용된다면, 그림 3에서 보이듯이 태양전지를 병렬로 연결하는 경우보다 cascaded 컨버터를 연결하는 경우 더 높은 효율을 얻을 수 있었다. (그림 3에서 Case 5의 직렬연결 경우 시스템 효율이 너무 낮아 그래프에서 생략하였다.) 사용자가 웨어러블 충전 어플리케이션을 사용함에 있어 partial shading은 피할 수 없는 요소라고 생각했을 때, DPP 컨버터의 연결은 시스템 효율을 높이기 위한 분명한 해결책이며, 컨버터의 효율이 높아진다면 cascaded 컨버터 또한 좋은 해결 방안이 될 수 있다.

3. 결론

웨어러블 충전 어플리케이션의 시스템 효율은 태양빛이 달라짐에 따라 태양전지와 컨버터의 연결 방법에 많은 영향을 받는다. 태양빛이 비교적 균일할 경우 병렬연결과 DPP 컨버터 병렬연결이 높은 시스템 효율을 보였고, 태양빛이 불균일할 경우 DPP 컨버터의 연결이 높은 효율을 보였다. 이 연구에서는 시스템 효율을 계산함에 있어 MPPT 손실을 포함하지 않았기 때문에 시스템 효율이 다소 높지만, MPPT 손실을 고려한다면, DPP 컨버터가 가장 높은 효율을 보여줄 것은 변하지 않을 것이다.

이 논문은 울산과학기술대학교의 1.140099.01 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] K. A Kim, P. S. Shenoy, P. T. Krein, "Photovoltaic differential power converter trade offs as a consequence of panel variation", COMPEL, IEEE 13th Workshop on, pp. 1 7, 2012, June.