

## Cascaded DC-DC컨버터가 적용된 태양광발전시스템의 효율 비교 분석에 대한 연구

박민수, 박종호, 마성덕, 오준석, 정의용, 김재언  
충북대학교

### A study on the comparative analysis about the efficiency of the Cascaded DC-DC converter in photovoltaic system

Min-su Park, Jong-Ho Park, Seong-Duc Ma, Joon-Seok Oh, Ui-Young Jeong, Jae-Eon Kim  
Chungbuk National University

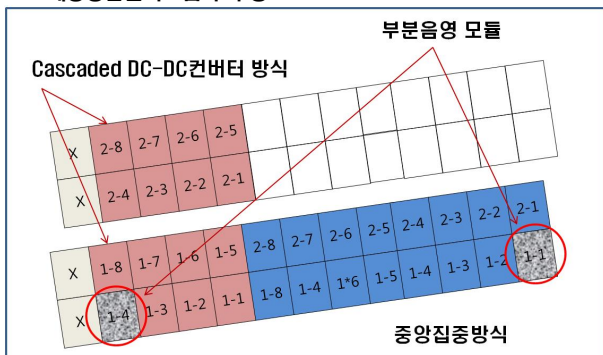
**Abstract** - Cascaded DC-DC컨버터 방식은 전체 모듈을 하나의 인버터로 제어하는 중앙집중방식에 비하여 일사량 변화 및 부분 음영에 대하여 최대전력발전에 유리하다. 태양광발전시스템에서 똑같은 조건의 부분 음영이 발생하였을 때 중앙집중 인버터 방식에서는 부분 음영의 영향을 받는 모듈이 부하로 작용하여 최대전력점을 제대로 추정하지 못하는 반면 Cascaded DC-DC컨버터 방식은 일사량의 변화에도 최대전력추종을 하여 비교적 높은 효율로 발전을 할 수 있다. 본 논문에서는 태양광발전시스템에서 중앙집중 인버터 방식과 Cascaded DC-DC컨버터 방식에 부분 음영이 발생하지 않았을 때와 발생하였을 때의 발전량의 차이를 PSCAD/EMTDC를 통해 모의 분석하고, 실제 태양광발전시스템에 적용하여 비교 분석한다.

#### 1. 서 론

오늘날 지속적인 인구 증가에 따른 에너지 수요의 증가와 화석연료의 사용감소를 위해 신재생에너지를 이용한 발전시설의 보급이 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 태양광 발전은 친환경적이면서 고갈될 염려가 없고 다른 신재생에너지원에 비해 설치단가가 저렴하고 유지 및 보수가 용이하여 잠재적 가치가 큰 에너지로 평가받지만 태양광 발전을 주 에너지원으로 활용하기 위해서는 발전효율, 안전성, 수명 등의 주요 문제를 해결 한다. 특히 발전 효율을 높이기 위하여 다양한 형태의 전력 변환장치 구성, 모듈연결방식, 최대전력추종(MPPT)방식 개선 등의 연구가 진행되고 있다. 특히 발전효율을 최대화하기 위해서는 기존의 하나의 인버터로 제어하는 중앙집중방식 대신 스트링 단위 또는 모듈 단위로 발전 제어를 해야 한다[1][2]. 하지만 추가적인 비용과 모듈 단위 제어 시스템을 구성하는 회로의 커패시터의 수명, 전력변환장치에 의한 스위칭 손실이 추가적으로 발생하게 된다. 이에 따라 중앙집중 인버터 방식에 비해 발전효율이 높고 스트링 인버터 방식과 마이크로인버터 방식에 비해 수명문제 및 스위칭손실이 적은 DC-DC 컨버터를 직렬 연결하여 인버터의 DC링크단에 연결하는 Cascaded DC-DC컨버터 방식이 제안되었다. Cascaded DC-DC컨버터 방식은 중앙집중 인버터 방식에 비해 일사량 변화 및 부분 음영 조건에서 최대전력추종에 유리하기 때문에 발전 효율이 높다. 본 논문에서는 태양광 모듈에 부분 음영 효과가 발생하였을 때, Cascaded DC-DC컨버터 방식과 기존의 중앙집중식 인버터 방식의 발전량 차이를 비교분석하기 위하여 인버터의 출력은 인버터의 측정 데이터를 이용하였고 부분 음영 모듈의 데이터는 NI의 DAQmax보드를 사용하였다.

#### 1. 본 론

##### 2.1 태양광발전시스템의 구성



〈그림 1〉 구성된 태양광발전시스템의 모듈 배치도 및 부분 음영조건

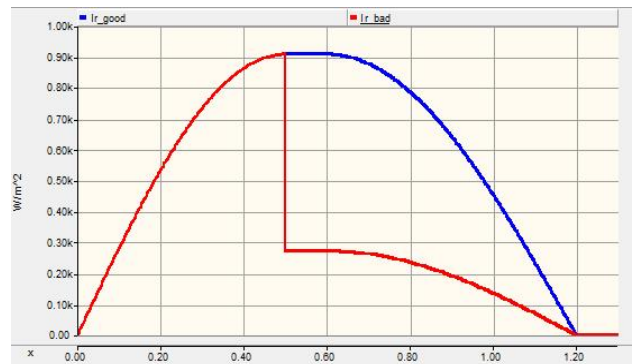
##### 〈표 1〉 PV모듈의 특성

| Pmax    | Vmax      | Imax     | Voc       | Isc      |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| 400 [W] | 49.39 [V] | 8.10 [A] | 60.55 [V] | 8.70 [A] |

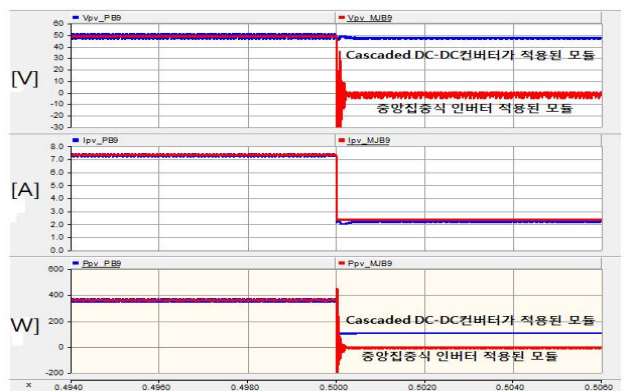
그림 1는 Cascaded DC-DC컨버터 방식과 기존 중앙집중 인버터 방식의 실제 발전 효율을 측정을 위하여 구성된 태양광발전시스템의 배치도를 나타낸 것이다. 사용한 태양광 모듈의 특성은 표 1에 나타나있다. Cascaded DC-DC컨버터 방식과 중앙집중 인버터 방식 모두 8직렬 2스트링 방식(6.4kW)으로 구성하였고 동일한 조건의 10kW급 계통 연계형 인버터를 사용하였다. 또한 정상시 출력뿐만 아니라 부분 음영시의 출력을 비교하기 위하여 Cascaded DC-DC컨버터 방식의 1-4 모듈과 중앙집중 인버터 방식의 1-1모듈에 아크릴을 이용하여 부분 음영효과를 주었다. 출력 비교를 위한 데이터는 AC-PLC를 통하여 데이터베이스에 저장된 자료를 이용하여 인버터의 출력을 비교하였고, 부분 음영을 실험한 모듈에 대해서는 NI사의 DAQ측정보드를 이용하여 모듈의 출력 전압/전류를 측정하였다.

##### 2.2 제안하는 태양광발전시스템의 시뮬레이션 결과

실제 제안하는 태양광발전시스템의 구성 및 PV모듈의 특성 정보를 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여 전체 시스템 조건을 모델링하였고 부분 음영 시뮬레이션 조건은 그림 2의 (a)와 같이 구성하였다.



〈그림 2〉 태양광발전시스템의 부분 음영 모듈 일사량 조건(400W모듈)

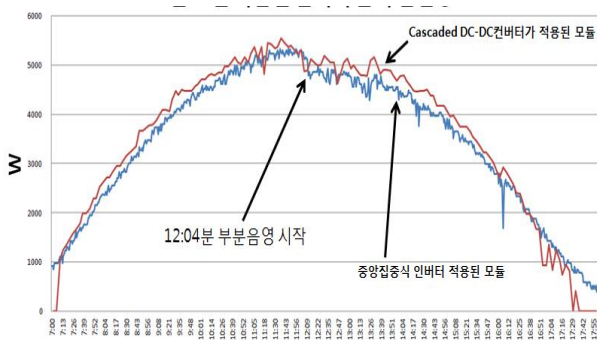


〈그림 3〉 부분 음영에서의 모듈의 출력 특성

부분 음영에 의한 PV모듈의 출력은 그림 3에 나타나있다. Cascaded DC-DC컨버터 방식에서는 음영 조건에서도 기존의 전압을 유지하여 적은 전류로 출력을 내지만 중앙집중 인버터 방식에서는 모듈에 역전압이 걸리기 때문에 부하로 작동함을 알 수 있다.

### 2.3 제안하는 태양광발전시스템의 실증 결과

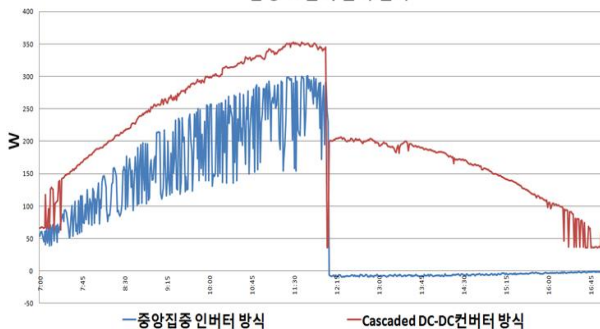
그림 4는 하루(07:00~18:00) 동안의 Cascaded DC-DC컨버터 방식과 중앙집중 인버터 방식의 인버터 출력을 나타낸 것이다. 부분 음영 실험 전인 평상시(07:00~12:04)상태에서는 Cascaded DC-DC컨버터 방식이 중앙집중 인버터 방식에 비하여 최대 442W의 출력차이를 나타내었고, 평균 231W의 출력차이를 나타내었다. 부분 음영 조건(12:04~18:00)에서는 Cascaded DC-DC컨버터 방식이 중앙집중 인버터 방식에 비해 최대 610W 출력차가 나타났고, 평균 98W 출력차이가 나타났으며 Cascaded DC-DC컨버터 방식이 중앙집중 인버터 방식에 비하여 일찍 발전을 종료하였기 때문에 최대출력차이가 크더라도 불구하고 평균 출력차이는 적게 나타났다. 또한 일사량이 최대가 되는 정오쯤에서는 DC-DC컨버터의 변환 효율로 인하여 출력차이가 적게 나타났다.



〈그림 4〉 5월 21일 하루 동안 인버터의 출력 발전량

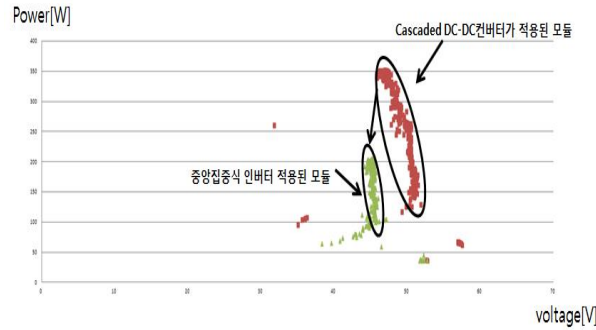
그림 5는 Cascaded DC-DC컨버터 방식에 연결된 PV모듈과 중앙집중 인버터 방식에 연결된 PV모듈의 하루 동안의 출력을 나타낸다. 음영 조건을 주지 않았을 때 중앙집중 인버터 방식에 연결된 PV모듈은 출력 전력의 변동이 심하게 나타나는데 이는 인버터 한 대가 16개의 모듈에 대하여 최대전력추종을 수행하게 되므로 한 개의 모듈에 대해서는 최대 효율로 운전되지 못한다. 때문에 각 모듈에 대한 최대전력추종 지점을 만족시키지 못하기 때문에 모듈의 출력이 일정하지 않다. 하지만, Cascaded DC-DC컨버터 방식에서는 모듈마다 DC-DC컨버터가 최대전력추종을 하므로 일사량에 따라 일정한 발전을 할 수 있다. 음영 조건에서는 Cascaded DC-DC컨버터 방식에서는 출력이 떨어졌다가 아크릴에 투과된 일사량만큼 DC-DC컨버터가 최대전력추종을 수행하지만 중앙집중 인버터 방식은 전체 모듈에 대한 최대전력추종점이 투과된 일사량의 최대전력추종에 맞지 않아 발전이 이루어지지 않게 되고 이 때 직렬로 연결된 PV모듈은 저항 성분만 남게 되므로 부하로 작동하기 때문에 그림 5에서와 같이 전력을 소모하는 상태가 된다.

음영 모듈의 출력 전력

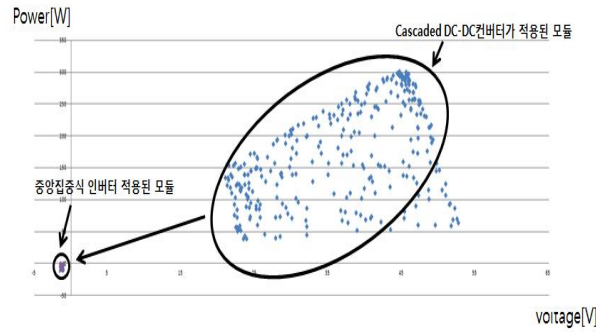


〈그림 5〉 음영 조건을 준 모듈의 출력

그림 6 (a)는 Cascaded DC-DC컨버터 방식에서 모듈에 부분 음영이 생겼을 때의 P-V특성이 변하는 것을 나타낸다. 부분 음영이 발생하여도 DC-DC컨버터가 전압을 일정하게 유지하므로 계속해서 최대전력추종을 수행한다. 중앙집중 인버터 방식에서의 모듈에 P-V특성은 그림 6의 (b)에 나타난다. 부분 음영이 발생하지 않아도 하나의 인버터가 16개의 모듈에 대하여 최대전력추종을 수행하기 때문에 동작점이 크게 벗어남을 알 수 있다. 또한 부분 음영이 발생하였을 때 대상 모듈에 역전압이 걸리기 때문에 전력을 소비하는 것을 확인할 수 있다.



(a) Cascaded DC-DC컨버터 방식 모듈의 부분 음영 실험 도안 P-V특성



(b) 중앙집중 인버터 방식 모듈의 부분 음영 실험 도안 P-V특성  
〈그림 6〉 음영 조건을 준 모듈의 P-V 특성

### 3. 결 론

Cascaded DC-DC컨버터 방식과 중앙집중 인버터 방식에서 평상시와 부분 음영이 발생하였을 때의 발전량과 최대전력추종 과정에 대한 비교 및 분석을 PSCAD/EMTDC와 실제 태양광발전시스템을 통해 진행하였고 이에 대한 결론은 아래와 같이 요약된다.

1. 최대전력추종에 있어 Cascaded DC-DC컨버터 방식은 DC-DC컨버터가 출력전압을 유지시켜 주므로 안정적인 발전을 할 수 있다.
2. 모듈에 부분 음영이 발생하였을 때에도 DC-DC컨버터가 전압을 유지시켜주므로 모듈이 부하로 동작하지 않고 받은 일사량에 대한 전력을 생산할 수 있다.

현재 구성한 태양광발전시스템에서는 8직렬에 대하여 두 방식에 대하여 출력을 비교하였으며 부분 음영 조건 역시 모듈 한 장에 대해서만 실시하였다. 따라서 DC-DC컨버터가 직렬 연결되는 모듈의 수에 따른 출력량 변화와 부분 음영이 확대 되었을 때의 출력 변화에 대한 연구가 필요할 것이다.

### [참 고 문 헌]

[1] Antoneta Iuliana Bratcu, Member, Iulian Munteanu, Member, Seddik Bacha, Damien Picault, Bertrand Raison, "Power Optimization Strategy for Cascaded DC-DC Converter Architectures of Photovoltaic Modules", Industrial Technology, 2009. ICIT 2009. IEEE International Conference on , 2009.

[2] Antoneta Iuliana Bratcu, Iulian Munteanu, Seddik Bacha, Damien Picault, Bertrand Raison, "Cascaded DC - DC Converter Photovoltaic Systems: Power Optimization Issues ", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2011.