

태양광 마이크로 컨버터 (Power Optimizer) 기술 동향



민준기
한밭대학교
전기시스템공학과

개 요

태양광 마이크로 컨버터(국내에는 Power Optimizer로 알려져 있다)는 태양광 발전 시설에서 모듈간, 스트링 간 발생하는 다양한 미스매치의 영향으로 발전량이 감소하는 현상에 대처하고 모듈레벨 모니터링 및 Rapid Shutdown과 같은 DC 레벨 안전 기능 등을 제공하는 최신 기술이다.^[1,2] 국내에는 아직 생소하지만, 해외에서는 이미 마이크로 컨버터의 효용성이 입증 되어 태양광 발전시스템에서의 적용이 증가하고 있으며, 특히, 미국의 가정용 태양광시장에서 마이크로컨버터 제품의 시장점유율이 급속히 증가하고 있다.

서 론

기존의 일반적인 태양광 발전 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 기존의 태양광발전 시스템은 중앙집중형 인버터를 주로 사용하기 때문에 모듈 간 또는 스트링 간 미스매치가 발생했을 때, 발전량이 하향평준화가 되어서 발전량이 감소가 되는 문제가 있다. 이는 중앙 집중형 인버터로는 모듈 간 또는 스트링간 미스매치에 구조적으로 대응 할 수 없기 때문이다. 모듈 간 미스매치는 태양광 모듈 자체의 양산 시 발생하는 모듈 편차(최근 업계 평균 3% 내외), 경년 변화에 따른 모듈 간 미스매치(20년 간 연평균 1% 저하),

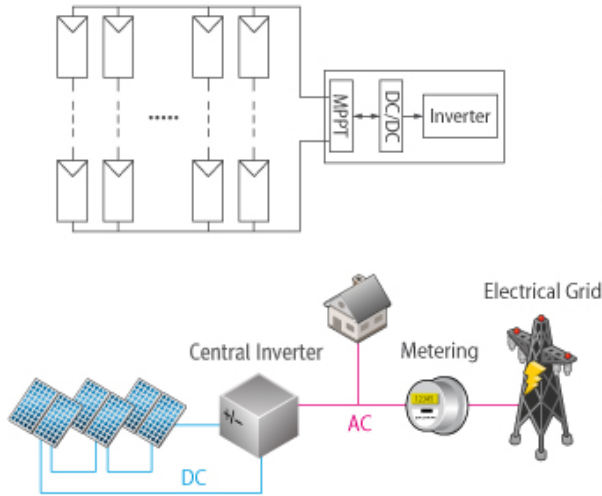


그림 1. 기존의 태양광 발전 시스템 구성도

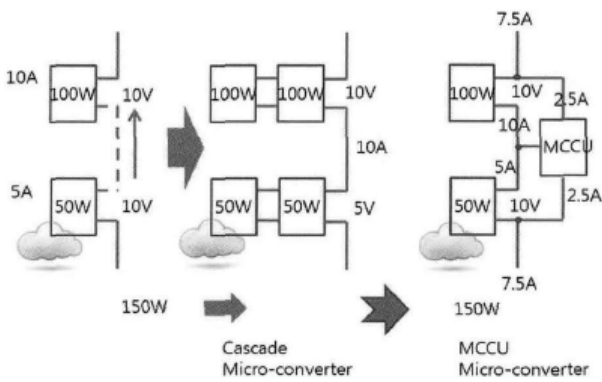


그림 2. 직렬 및 병렬형 마이크로 컨버터의 효과

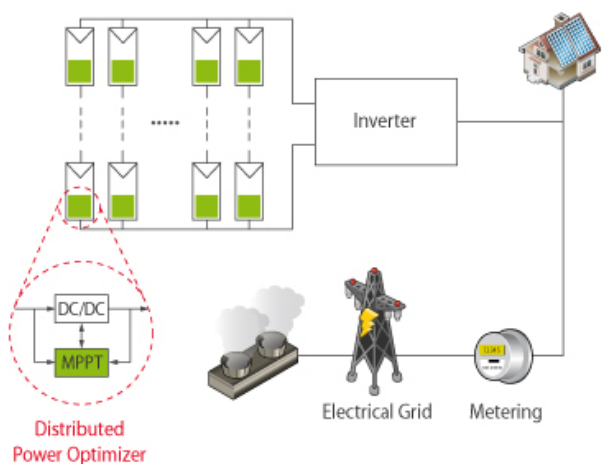


그림 3. 마이크로 컨버터가 장착된 태양광 발전 시스템

스트링(태양전지 모듈의 직렬군) 내부에서 부분 그림자, 낙엽, 먼지, 새똥 등에 의한 모듈 간 미스매치 등을 들 수 있다. 음영발생에 따른 미스매치는 극단적인 경우에 100%의 모듈 또는 스트링간 편차를 가져온다. 모듈마다 발전할 수 있는 최대 전력이 서로 다를 때, 이 모듈들이 직렬로 구성되어 스트링 구조를 가지고 있으므로 발전량이 가장 작은 모듈을 기준으로 하양 평준화가 된다는 점이다. 마이크로 컨버터의 효과는 바로 미스매치로 인하여 발전이 감소될 때 이를 막아주고, 각 모듈들이 독립적으로 최대의 에너지 생산을 하게 만든다는 데 있다. 모듈간 미스매치가 발생했을 때 마이크로 컨버터가 적용이 안되었을 때와 적용되었을 때의 효과에 대한 동작원리를 그림 2에서 보여주고 있다. 마이크로 컨버터가 모듈별로 장착된 태양광 발전 시스템의 구성을 그림 3에서 보여주고 있다. 마이크로 컨버터의 동작으로 미스매치 시 발전량 증가 외에도 개별 모니터링이 가능하여 유지 보수 비용을 줄이는 추가적인 효과가 있으며, 화재 발생 등의 비상시 또는 계통으로부터 발전을 자제하라는 명령이 있을 때 원격 shutdown 기능이 제공되며, 스트링 당 모듈의 개수가 일정하지 않게 변화를 주거나 스트링 당 모듈의 수를 증가 시킴으로 BOS (Balance of System: 태양광발전시스템에서 태양전지 모듈을 제외한 시스템을 구성하는 부품) 비용을 낮추는 효과 등을 얻을 수 있다.

마이크로 컨버터

마이크로 컨버터의 종류

마이크로 컨버터는 감압 및 승압이 모두 가능한 buck-부스트(buck-boost) 타입의 직렬형 마이크로 컨버터와 미스매치가 없을 때 삽입 손실을 줄일 수 있는 전류편차보상기형(MCCU) 병렬형 마이크로 컨버터의 2가지 종류가 있다. 이러한 마이크로 컨버터 회로는 그림 4와 그림 5와 같다.

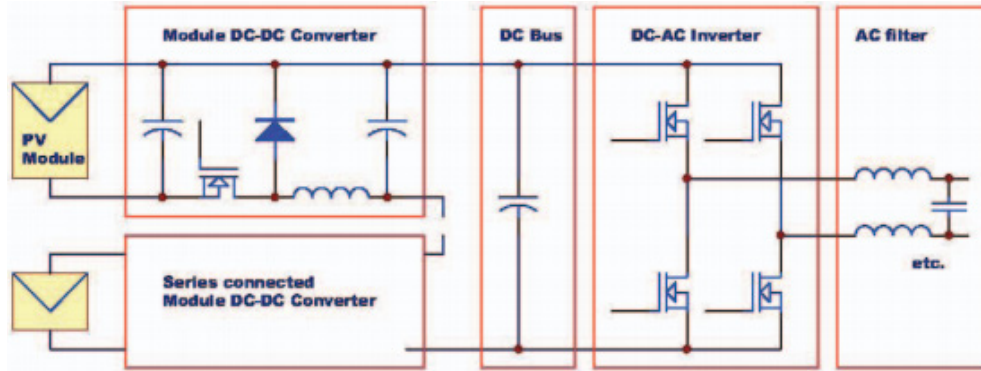


그림 4. 벡-부스트(buck-boost) 타입의 직렬형 마이크로 컨버터

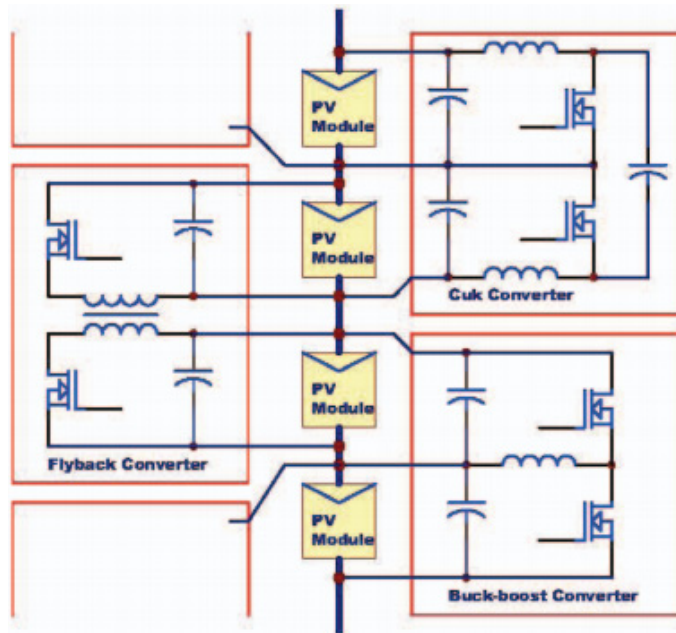


그림 5. 전류보상기형(MCCU) 병렬형 마이크로 컨버터

직렬형 마이크로 컨버터의 구성 및 동작 원리

벡-부스트 타입의 직렬형 마이크로 컨버터와 스트링 인버터로 구성된 시스템은 그림 6과 같다. 태양광 모듈의 전압을 입력으로 받고, 벡 또는 부스트로 승압 또는 감압된 출력이 직렬 병결이 되어 한 개의 스트링을 구성하는 구조이다.

태양광 모듈의 최대전력점(Maximum Power Point, MPP)을 찾기 위해서는 P&O(Perturbation and Observation) 방식이 가장 널리 사용되고 있고 이외의 다양한 알고리즘이 연구 및 적용되고 있다. 이러한 직렬형 구조에서는 인

버터가 전압을 어떻게 인가하더라도 항상 최대전력전압(V_{mp})을 유지하는 것이 마이크로 컨버터의 기본 성능인데, 실제 상황에서는 모듈간의 미스매치 또는 대형 발전소의 경우 스트링간의 미스매치 등으로 마이크로 컨버터의 출력전압(V_{out})은 다이내믹 하게 변동하며 스트링 내부에서 모듈 간 미스매치가 심해지면 마이크로 컨버터의 출력전압(V_{out})은 0V에 가까워지거나 마이크로 컨버터가 감당할 수 없는 전압 이상으로 커질 수도 있다. 이는 극단적인 미스매치 상황에서 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 초기하고 안전 운전을 하는 동작 모드가 필요

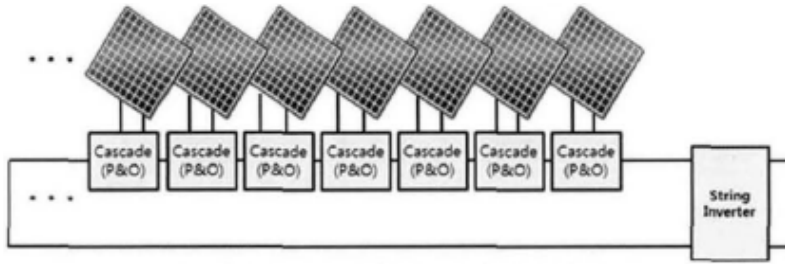


그림 6. 직렬형 마이크로 컨버터 시스템의 구조

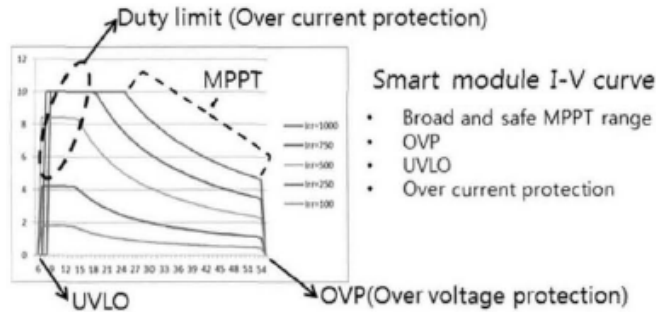


그림 7. 마이크로 컨버터 출력 전압-전류 곡선

하다. 이를 전류-전압 곡선으로 나타내면 그림 7과 같다. 출력 전압(V_{out})이 너무 작거나 출력 전류(I_{out})가 너무 큰 영역 및 출력 전압(V_{out})이 너무 커지는 영역에서는 MPPT를 포기하고 안전한 운전을 하도록 전류-전압 곡선이 구성됨을 보여주고 있다.

병렬형 마이크로 컨버터의 구성 및 동작 원리

병렬형 구조의 일종의 전류편차보상기(MCCU) 타입의 마이크로 컨버터 및 스트링 인버터로 구성된 시스템은 그림 8과 같다. Shunt 또는 Shuffler 타입이라고도 부르는 구조로서 그 구성은 일반적인 벅-부스트 타입의 직렬형

마이크로 컨버터보다 간단하다.

이 구조의 장점으로서는 인접한 태양광 모듈의 전력차이만을 처리하는 구조이고, 모듈 간에 미스매치가 없을 때는 마치 마이크로 컨버터가 없는 것처럼 FET 스위치를 OFF 함으로써 삽입 손실을 최소화할 수 있다. 단점은 스트링 내 모듈간의 미스매치 패턴에 따라서 특정 마이크로 컨버터의 내부 인덕터에 과전류가 흐를 수 있다는 점이고 이 경우에는 이를 미리 감지하여 과전류가 흐르기 전에 MPPT를 부분적으로 포기하여 과전류를 방지하는 Soft-stop 알고리즘이 필요하다. 한편 스스로 MPPT를 할 수가 없기 때문에 스트링당 $N-1$ 개의 마이크로 컨버터와 N 번째에는 스트링 제어가 필요하다. MPPT는 일반적인 P&O를 채택

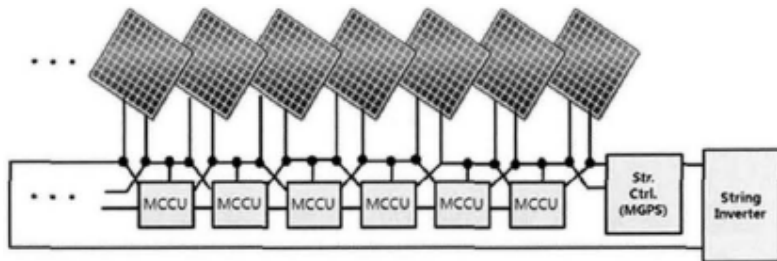


그림 8. 병렬형 마이크로 컨버터 시스템의 구조

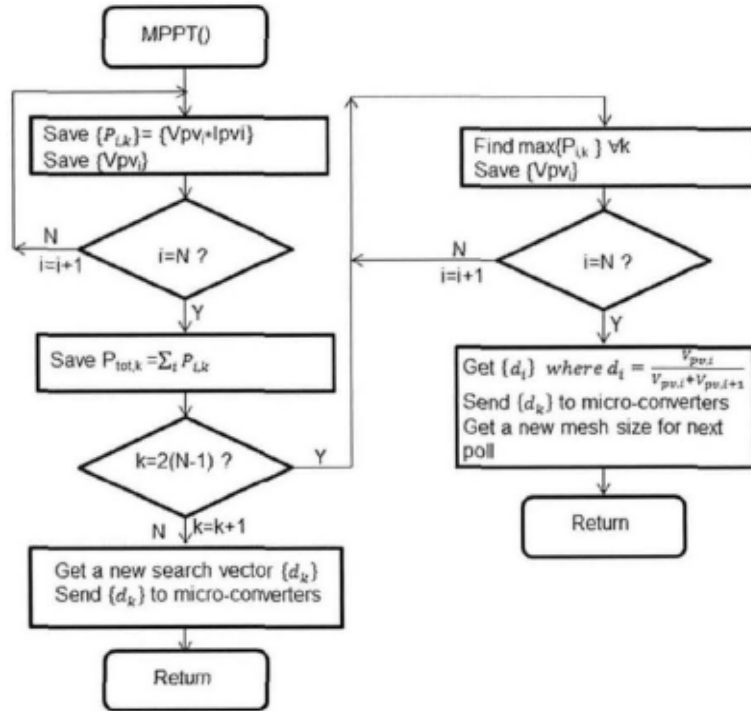


그림 9. MGPS MPPT 알고리즘

할 경우에는 스트링의 전압을 MPPT 결정대로 유지하기 위해서 고전압 DC/DC 컨버터가 필요해진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 P&O 알고리즘은 적당하지 않으며 변형한 새로운 알고리즘이 필요하며 MGPS(Modified General Pattern Search) 알고리즘은 그림 9와 같다.

크워크 비용 감소를 위해서는 소수의 게이트웨이를 갖는 구조가 필요하며 이를 위해 풀 메시(Full Mesh) 기술이 사용된다. 메시 네트워크 기술을 적용한 저비용 네트워크 구조를 그림 10과 같다.

태양광 모니터링 시스템

모듈레벨 모니터링 시스템

마이크로 컨버터와 같은 분산형 최대전력 추적시스템의 특징으로 모듈레벨 모니터링 기능이 있다. 기존의 태양광 발전 시스템은 인버터 단위 또는 스트링 단위(추가 모니터링 장치 필요)의 모니터링만 가능하였다. 하지만 마이크로 컨버터 시스템은 모듈 단위로 전압, 전류를 측정하기 때문에 보다 자세하고 고장 진단에 대한 대응이 빠르다. 하지만 이러한 모듈레벨 모니터링을 위해서는 많은 수의 게이트웨이가 필요하여 네트워크 비용의 증가가 수반된다. 네

원격 진단 시스템

태양광 모듈레벨 모니터링 시스템은 그림 11과 같다. 이 시스템의 특징으로는 문제 발생이 의심되는 모듈의 전기적 특성을 원격지에서 진단하는 기능을 들 수 있다. 이 기능은 이상 동작을 보이는 모듈이 감지되었을 때 단말기에서 서버, 게이트웨이 및 메시 네트워크로 해당 마이크로 컨버터로 Full Scan 명령을 다운로드 하면, 마이크로 컨버터는 수십 ms의 짧은 시간 동안 발전 시스템에 영향을 주지 않으면서 해당 모듈의 전기적인 특성을 스캔해서 서버로 업로드 한다. 단말기는 이 정보로부터 해당 모듈의 전류-전압 및 전력-전압 특성 곡선을 실시간으로 확인 할 수 있다. 이러한 방식을 통하여 각 스트링의 어떤 모듈에 이상이 있는지, 일시적 또는 영구적 고장인지 진단이 가능하다.^[3]

음영 분석

미스매치 분석 및 마이크로 컨버터 효과

직병렬 어레이 구조의 태양광 발전 시스템에서 미스매

치가 끼지는 영향은 매우 복잡하다. 음영 등 의 원인으로 미스매치가 발생하는 현장에서 마이크로 컨버터를 장착하여 결과를 그림 12와 같이 분석하였다. 스트링을 8개의 모듈로 구성했을 때 서브모듈 단위로 50%의 모듈이 그림자

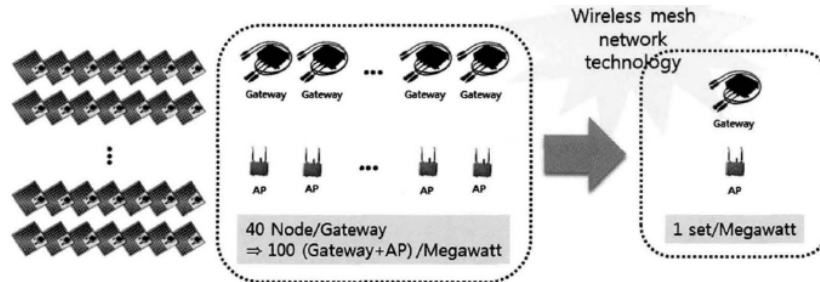


그림 10. 메시 네트워크 적용 예시

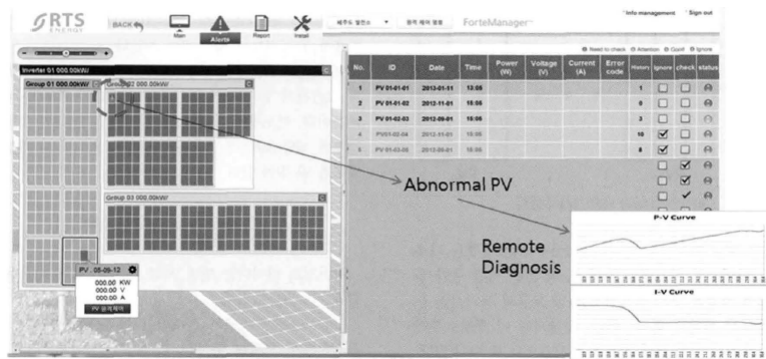


그림 11. 모듈레벨 모니터링 시스템 및 원격 진단 기능

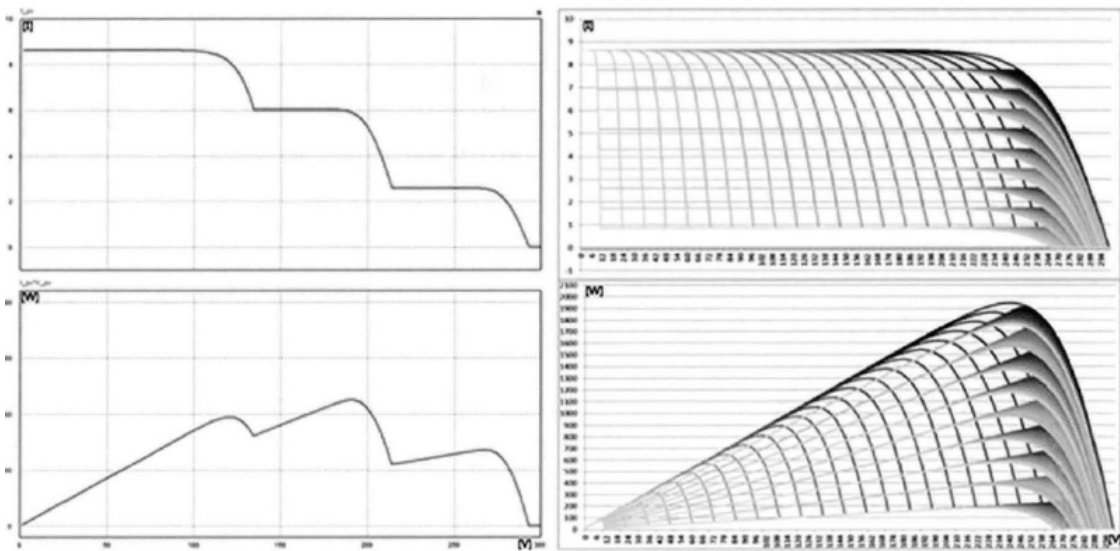


그림 12. 부분 음영에 대한 전압-전류 및 전력-전압 특성 곡선

가 발생하는 경우는 그림 13과 같다. 이 경우의 인버터 출력은 적용하지 않은 경우에 비교해서 약 57%의 출력 상승 효과가 있었으며 이는 그림 14와 같다.

마이크로 컨버터 제품 비교

현재 출시되고 있는 SolarEdge 제품과 RTS에너지의 제품은 그림 15와 16과 같고, 이 제품들의 특징을 표 1에서 비교하였다.^[4,5] 실제 시스템의 구성에 있어 시스템 비용은 메시 네트워크를 사용하여 모니터링 시스템을 구성하고 있는 RTS에너지가 저렴할 것으로 예상된다.



그림 13. 스트링에서 50%에 음영을 발생시킨 경우

표 1. 마이크로 컨버터 제품 비교

항 목	SolarEdge	RTS 에너지
인버터 호환	전용 인버터	상용 인버터
네트워크 비용	게이트웨이, AP	메시 네트워크
전력변환 효율	CEC 98,8%	Max 98,9%
추가 기능	Rapid Shutdown	Rapid Shutdown with remote
토폴로지	직렬형	직렬형 및 병렬형

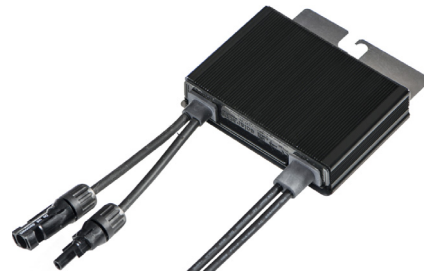


그림 15. SolarEdge 마이크로 컨버터



그림 16. RTS 에너지 마이크로 컨버터

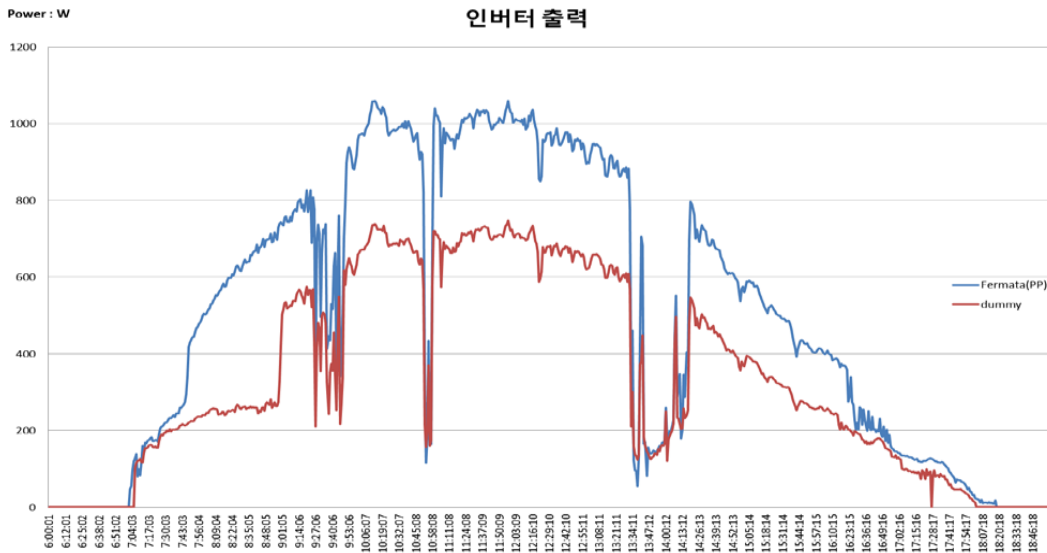


그림 14. 마이크로 컨버터를 적용한 경우(청색)와 적용하지 않은 경우(적색)의 인버터 출력

결 론

태양광 마이크로 컨버터 관련 기술에 대해 소개하였다. 마이크로 컨버터는 태양광 발전시스템에서 모듈의 경년 변화, 주기적인 음영, 일시적인 그림자, 조류 배설물 등 다양한 원인에 의한 모듈 간 또는 스트링 간 미스매치로 발전량이 떨어지는 현상을 막아주는 역할을 수행하며, 추가적으로 모듈 레벨의 모니터링 기능 및 화재 등 비상 시 스트링 DC 전원의 원격 차단 및 재가동하는 기능 등을 제공한다. 국내에는 아직 보급 초기 단계의 기술이지만 유럽 및 미국 시장에는 이미 보편화된 기술이다. 또한 마이크로 컨버터를 설치하기 이전에 음영 정보만 가지고 마이크로 컨버터의 효과도 예측이 가능하다.

태양광 발전 시스템에서 마이크로 컨버터의 적용은 비용이 가장 큰 걸림돌이 되고 있으나 제품 가격이 하락되고 있으며, 경년 변화에 따른 태양광 발전소의 발전량 저하를 회피하는 좋은 방법으로 판단된다.

참고문헌

- [1] G.R Walker and Jordan C Pierce, "Photovoltaic DC-DC module integrated converter for novel cascaded and bypass grid connection topologies – design and optimization," *IEEE PESC*, pp. 1-7, 2006.
- [2] Mohanmmadmehdi, Saad Mekhiler, Rasoul Rahmani, Rubiyah Yusof and Ehsan Taslimi, "Analytically modeling of partially shaded photovoltaic system", *Energie*, pp. 128-144, June, 2013
- [3] 조경호, "태양광 발전용 마이크로컨버터 기술", 전력전자 학회지 제20권 제3호, pp39-43, June, 2015.
- [4] SolarEdge Power Optimizer P600/P700 datasheet.
- [5] RTS-energy Power Optimizer – SolarForte datasheet.