



특집 04

태양광 발전 모니터링 시스템



홍성웅 ((주)유시스템), 김평중 (충북도립대학)

목 차 »

1. 서 론
2. 태양광 발전 시스템
3. 태양광 발전 모니터링 시스템
4. 태양광 발전 모니터링 시스템에 대한 평가
5. 결 론

1. 서 론

지구온난화에 대한 대안으로 신재생에너지에 대한 관심이 급증하였고 신재생에너지 중에서 태양광 발전 산업 또한 급격히 발전하였다^{1,2)}.

그러나 태양광발전의 경우 다른 발전 시설과는 다르게 전기를 최대한으로 생산하는지 확인하기 쉽지 않으며, 고장이 발생하더라도 고장 자체를 인식하지 못하고 장기간 지나치기 쉽다는 문제점이 있다. 이상 유무 및 교체시기, 태양발전시스템의 종합효율을 최대화 할 수 있는 대책이 필요하다. 현재 태양광 발전용 인버터의 효율은 95% 이상으로 성능이 우수하지만 발전 시스템 내에서 발생하는 발전량 손실률은 5~25%로 매우 크다. 이 전압 불일치의 원인은 구름 및 건물의 그림자, 오염, 셀 열화 등이다.

따라서 중앙 집중식 인버터에서 분산형 인버터로 에너지 생산을 최대화하려는 시도들이 꾸준히 계속되었고 마이크로 인버터를 이용한 태양광 발

전시스템도 꾸준히 발전하고 있다. 발전단지를 위한 분산형 발전 시스템부터 건물 통합 태양광 발전 시스템을 적용하기 위한 마이크로인버터까지 꾸준히 개발되고 있다³⁻⁵⁾.

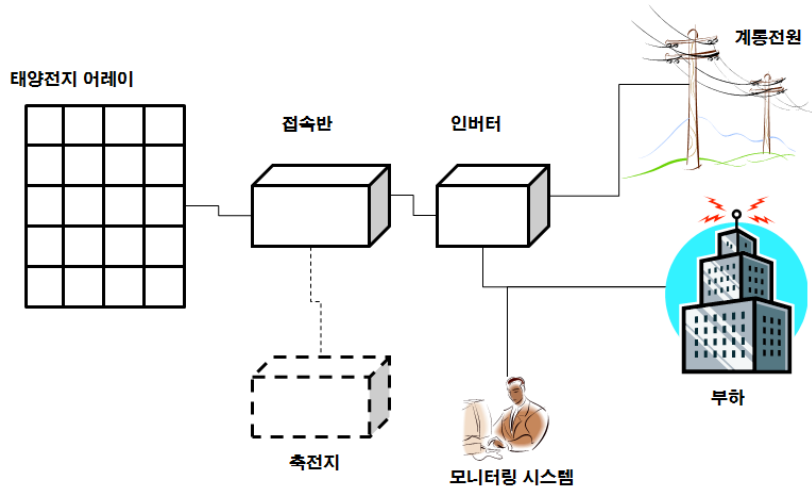
이렇듯 인버터 용량을 줄여 전력생산을 분산 처리하는 것은 음영으로 인한 발전량 감소를 방지하고 발전량의 향상을 가져올 수는 있지만 분산 된 처리만큼 데이터의 처리 양을 급격히 증가시킬 수 있다. 현재 개발되고 있거나 개발된 마이크로 인버터는 190W ~ 450W 수준이며 국내의 경우 250W 상용화 마이크로 인버터를 개발하였다.¹⁾

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 구조와 발전상태 모니터링 상황을 고찰하고 분산발전 모니터링에 대해 평가하고자 한다.

2. 태양광 발전 시스템

2.1 태양광 발전 시스템의 구조

태양광 발전시스템은 태양전지어레이, 접속반,



(그림 1) 태양광 발전시스템의 구조

인버터, 모니터링 시스템으로 구성되고 독립형의 경우 축전지를 포함하여 구성된다.

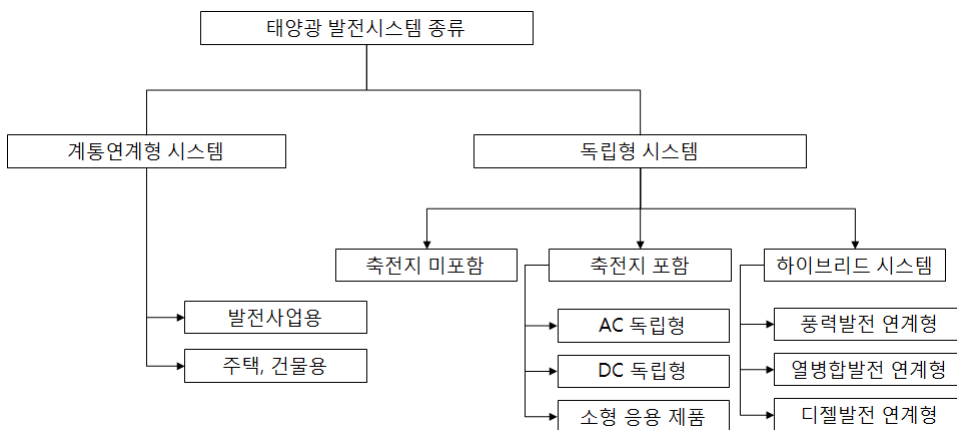
태양광 발전시스템의 구조는 (그림 1)과 같다^[1].

2.2 태양광 발전시스템의 분류

태양광 발전시스템의 분류는 (그림 2)와 같다^[6].

〈표 1〉 태양광 발전시스템

구 성	설 명
태양전지어레이	태양에너지가 입사되어 전류를 생성
접속반	모듈에서 발생된 직류(DC)전력을 모아 인버터로 전달
인버터(inverter)	태양전지에서 생산된 직류전기(DC)를 교류전기(AC)로 바꾸는 장치
축전지(battery)	낮에 생산된 전기를 밤에 사용할 수 있도록 전기를 저장하는 장치
모니터링 시스템	시스템의 상태를 파악하고 고장 및 이상을 진단



(그림 2) 태양광 발전시스템의 분류

〈표 2〉 태양광 발전시스템의 분류

구분	설명
계통연계형 시스템	계통연계형 시스템은 한전계통선이 들어오는 지역의 주택, 빌딩, 대규모 발전시스템에 사용한다.
독립형 시스템	독립형 시스템은 축전지를 포함하거나 포함하지 않을 수 있으며 하이브리드 시스템에 적용될 수 있다. 전기가 들어오지 않는 등대, 중계소, 인공위성, 도서, 산간, 벽지 등에 사용할 수 있다.
하이브리드(Hybrid)시스템	하이브리드 시스템은 태양광 발전과 풍력발전, 디젤발전 등 타 에너지원에 의한 발전방식과 결합된 방식이다.

2.3 태양광 인버터

태양광 인버터는 태양광 모듈로부터 발전된 DC를 AC로 전환한다. 태양광 모듈로부터 발전된 전원은 DC이고 현재 전원계통은 60Hz의 AC 전원이다. 따라서 DC-AC 계통연계형 인버터가 파워 변환에 필요하게 된다⁷⁾.

2.3.1 태양광 인버터의 기능

태양광 인버터는 <표 3>과 같은 기능들이 요구된다⁶⁾.

2.3.2. 마이크로 인버터

최근에는 태양광 인버터의 프론트엔드(Frontend)

를 모듈로 이전하는 방식이 늘고 있으며, 이러한 방식은 마이크로 인버터(Micro-Inverter)를 적용한 발전 방식이다. 이러한 마이크로 인버터는 매우 안정적인 출력전압을 제공해 설치범위를 확실히 좁힐 수 있어 결과적으로 더 높은 효율을 가능케 한다. 각 모듈의 최대 전력점(MPP)의 지속적인 유지도 가능해 +/- 7%의 높은 오차율을 감안하면 큰 차이를 가져온다. 또한 태양광 발전용 인버터는 부분 음영에 의해 발생하는 효율 저하를 없애기 위해 각 모듈마다 인버터를 설치하는 AC 모듈의 형태로 기술 개발이 진행되고 있다. 각 PV 모듈마다 마이크로 인버터가 설치된다⁸⁻¹⁰⁾.

〈표 3〉 태양광 인버터의 기능

기능	설명
직류전압 범위	태양광 인버터의 경우에 발전시스템을 구성할 때에 태양광 모듈의 직렬 연결조합을 다양하게 구성할 수 있도록 하기 위하여 직류 입력 전압 범위가 매우 넓다.
계통연계 보호 동작	인버터의 고장 또는 계통에 사고가 발생할 경우 사고의 제거, 사고범위의 극소화를 위하여 인버터를 정지시키고 계통과 분리할 필요가 있다. 일반적으로 과전압, 저전압, 과주파수, 저주파수 등 4가지 요소를 검출한다.
고효율 제어	스위칭 동작 주파수의 증가로 인하여 스위칭 손실이 증가하기 때문에 손실을 최소화하기 위한 회로 및 제어가 필요하다.
최대전력점추종(MPPT) 제어 기능	태양전지는 일사량 및 온도에 의해 출력특성이 시시각각으로 변화하여 최대전력을 얻을 수 있는 최대전력점도 그에 따라 변화하게 된다. 태양전지는 일사량이 증가하면 전류가 증가하여 출력 전력이 증가하게 되고 온도가 상승하면 전압이 감소하여 출력전력이 저하되는 특성을 가지고 있다. 따라서 최대 전력점에서 인버터가 운전될 수 있도록 최대 전력점을 항상 감시하여 추종하도록 설계하여야 한다.
단독운전방지(Anti-islanding) 기능	상용전원 정전과 같은 계통 사고 시에 인버터가 부하용량과 평형을 유지하여 이상 현상을 검출하지 못하고 운전을 계속하는 상태를 단독운전이라고 한다. 단독운전이 발생하면 계통이상위에서 차단되어 있어도 저압 쪽으로 부터 전압이 유기되기 때문에 감전사고의 위험이 있다. 그리고 단독운전 시간이 길어지면 인버터의 출력이 불안정하게 되고 이 때 복전이 되면 계통과 인버터의 출력이 동기가 되지 않을 경우 사고를 유발시킬 수 있다. 따라서 사용전원이 정전이 되면 신속히 이를 검출하여 인버터 자신이 정지하여야 한다.
고조파 억제	인버터로부터 발전되는 전류의 왜형률이 클 경우 계통 및 부하설비에 악영향을 주기 때문에 고조파 허용율은 각 3%이내이며, 총 왜형을 5%이내로 제한하고 있다.

3. 태양광 발전 모니터링 시스템

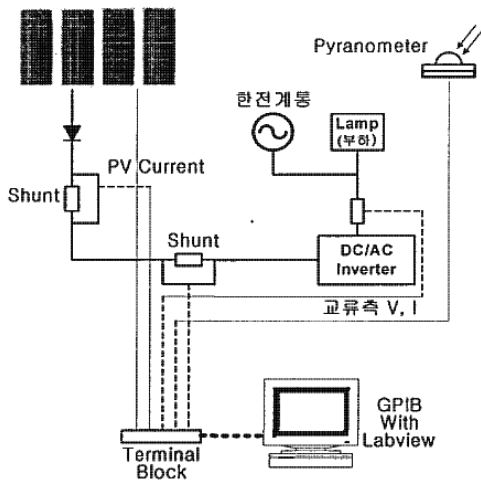
국내에 보급된 신재생에너지 발전 설비의 유지 보수를 위해서 에너지관리공단에서는 태양광발전시스템을 포함한 신재생에너지 통계정보시스템(KONESIS)을 도입하였다^[11]. 태양광발전시스템의 경우는 정부지원금을 받은 10kW 이상의 설비에 대하여 인버터 출력량 모니터링을 하고 있으며, 문제 발생시 설치 및 제작업체에 연계하여 보수하도록 하고 있다.

3.1 태양광 발전 모니터링 시스템

3.1.1 태양광 데이터 취득 시스템

태양광 발전설비의 특징은 설치비용이 타 발전 설비에 비해 매우 높으므로 태양전지와 축전지의 용량을 부하량에 따라 최적화 시키는 과정이 필수적이다.

태양광 발전 설비가 설치될 장소의 온도 및 일사량 등의 환경데이터에 대한 세부적인 지식과 유사하게 설치된 발전 시스템의 동작특성의 결과를 필요로 하게 되므로 데이터를 분석, 취득하기



(그림 3) 태양광 데이터취득시스템

<표 4> 태양광 모니터링을 위한 센서

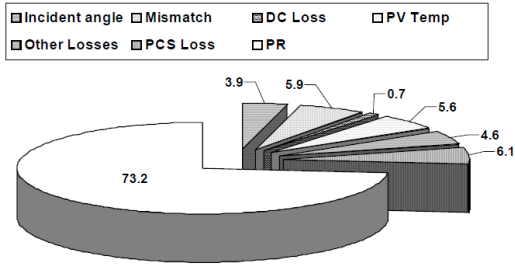
센서	용도
광입사각 센서	태양광 패널에 입사되는 태양광의 각도를 측정하는 센서
온도/습도 센서	주변 환경 요소이자 태양광 패널 소자의 영향력이 큰 온도/습도 데이터를 수집하기 위한 센서
풍향/풍속 센서	풍향/풍속 등의 데이터를 수집하기 위한 센서
전력제어 센서	태양광 패널은 전압 또는 전류 생산이 아닌 전력 생산 장치로서 최적 전력제어지점을 찾아 제어
진동센서	전체적인 태양광 전력 생산시설의 충격 여부를 판단하기 위한 센서
열계/가속도계	태양광 모듈의 균열 또는 허용 충격량 초과 여부를 판단하기 위한 센서
다측정 액체 침하 시스템	시설의 노후화에 의한 액체 침하로 손상된 모듈을 신속히 모니터링 하고, 정비 및 교체하기 위한 센서

위한 목적과 동작중의 상태를 실시간으로 모니터링하기 위한 목적으로 많은 데이터취득시스템이 개발되어 왔다. 이러한 연구결과 태양광 발전을 이용한 시스템의 동작특성을 모니터링 하기 위한 목적으로 사용된 데이터취득시스템을 (그림 3)과 같이 구성한다^[15].

태양광 모니터링 시스템은 다양한 정보의 수집을 요구하고 있으며 태양광 모니터링을 위한 센서들을 살펴보면 <표 4>와 같다. 또한 이렇게 수집된 데이터를 사용자 편의에 맞춰 서비스하기 위해 웹을 이용하거나 스마트폰을 사용한 사용자 UI 중심의 모니터링 시스템들에 대한 연구와 통신방식들에 대해 연구되었다^[11].

3.1.2 태양광 발전 성능평가 시스템

태양광 발전시스템의 모니터링은 태양광 발전 상태를 실시간으로 확인할 수 있는 정보를 제공한다. 따라서 모니터링을 통한 성능 평가에 대한 연구가 계속되어왔다. 웨이블릿 변환을 이용한 태양광 발전시스템의 고장진단에 관한 연구는 웨이블릿(Wavelet) 변환을 이용한 고장진단에 관한 연구로써 추가적인 하드웨어와 센서를 사용하여



(그림 4) PV 시스템 평가분석 결과

인버터의 고장을 진단하는 방법은 단가가 상승하고 사양이 바뀔 경우 재설계를 해야 하는 문제점을 해결하고자 인버터 전류나 전압과 같은 상태 변수들을 다단계 변환을 통해 얻어낸 웨이블렛 계수들의 변화를 감지하여 고장의 종류와 부위를 인식하는 방법을 채택하였고, 정규화 표준 편차를 이용하여 웨이블렛 계수의 변화로부터 고장 진단을 평가 하였다. 또한 환경변화에 따른 PV 시스템의 성능 특성을 평가분석하기 위해 감시 계측 시스템을 설치하고, 수집된 계측 데이터를 이용하여 PV 시스템의 성능 및 발생손실에 대해서 정량적인 값으로 (그림 4)와 같이 평가하였다¹¹⁾.

4. 태양광 발전 모니터링 시스템에 대한 평가

기존의 태양광 모니터링 시스템과의 비교평가 결과는 <표 5>와 같다¹¹⁾.

대부분의 모니터링 시스템은 인버터정보에 의존하여 고장진단을 판단을 중심으로 연구되었으며 분산 발전 시스템 적용 측면에 부적합하다. 마이크로 인버터 제조사의 경우 고객 지원을 위해

<표 5> 태양광 모니터링 시스템 분석

구분	평가내용
모니터링 정보제공	기존의 태양광 모니터링 시스템은 센서 정보 표시와 인버터 정보를 표시하는 형태로 모니터링 정보를 제공하지만 고장진단정보를 제공하지 않았다.
고장진단	고장진단에 대한 기존의 태양광 모니터링 시스템을 평가한 결과 센서 정보를 기반으로 전력 손실 원인을 평가하거나 인버터의 고장진단 기능을 갖는다. 그러나 시스템 전반적인 고장진단 기능을 제공하지 않았다.
분산 발전 시스템 적용	태양광 모니터링 시스템 중 마이크로 인버터 제조사의 경우 분산발전 시스템의 모니터링에 적합하고 나머지의 경우는 분산 발전 시스템의 모니터링이 적합하지 않았다.
데이터 수집 에이전트	태양광 모니터링 시스템은 데이터 수집 에이전트를 포함하고 있지 않았다.

<표 6> 태양광 발전 모니터링 시스템의 비교

구분	모니터링 정보제공	고장진단	분산 발전 시스템 적용	데이터 수집 에이전트
50kW급 계통 연계형 태양광발전 시스템의 성능모니터링	센서 기반의 발전상태 제공	전력 손실 원인 평가	부적합	없음
GLRT 기반 고장진단 알고리즘 적용 시스템	USN을 이용한 무선 시스템 감시/인버터 정보표시	태양광 발전시스템의 출력 기준의 고장 진단	부적합	없음
전류 궤적 영상의 특징과 트리모델	-	인버터의 고장진단	부적합	없음
웨이블렛 변환을 적용한 고장진단	-	인버터의 고장진단	부적합	없음
enphase energy	웹기반의 모니터링 서비스/ 마이크로 인버터 정보표시	인버터의 Fault 신호 분석	적합	없음
MAP	HTML5기반 웹 모니터링 서비스 제공/ 마이크로 인버터 모니터링 제공 /고장진단정보제공	태양광 발전 출력, 제어상태 등 시스템전반에 대한 고장 진단	적합	있음

제품의 모니터링 서비스를 제공하고 있으나 고장 진단 기능은 포함하고 있지 않고 인버터의 정보를 참조하여 서비스한다. [1]

5. 결론

지구 온난화 등 신재생에너지에 대한 관심의 증가에 따라 태양광 발전시스템과 모니터링 시스템이 같이 발전하고 있다. 그러나, 대부분 전력 생산량에 대한 모니터링에 대해 치중하고 있어 20년 이상의 수명을 갖는 태양광 발전시스템의 관리를 위해서는 장기적인 관점에서의 유지보수를 위한 태양광 발전용 모니터링 시스템에 대한 연구는 앞으로도 계속 되어야 할 것으로 보여진다.

참 고 문 헌

- [1] 홍성웅, 태양광발전 모니터링 에이전트 시스템에 관한 연구, 2013, 박사학위 논문.
- [2] Mark Z. Jacobson, "Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security, Energy and Environmental Science", Vol.2, pp.148-173, 2009.
- [3] M. Kamil, "Grid-Connected Solar Microinverter Reference Design Using a dsPIC Digital Signal Controller", Microchip Application Notes AN1338, 2010.
- [4] Bower, W., "The AC PV Building Block - Ultimate Plugn-Play That Brings Photovoltaics Directly to the Customer: Proceedings of the 2004 PV Program Review", Denver, CO, Oct., 24-27, 2004.
- [5] W. Bower, R. West, and A. Dickerson, "Innovative PV micro-inverter topology eliminates electrolytic capacitors for longer lifetime", in Proc. IEEE 4th World Conf. Photovoltaic Energy Convers., Conf. Record, May7-12, 2006.
- [6] 에너지 관리공
- [7] 이우철, "계통 연계형 태양광 인버터에서 최대 출력 점 추적 제어", 조명·전기설비학회논문지 제23권 제5호, pp.72-79, 2009. 5.
- [8] Enecsys, <http://www.enecsys.com>
- [9] 정승진, "독일, 태양광 마이크로 인버터가 대세", KOTRA, 2009.
- [10] 노용수, 지용혁, 김준구, 이태원, 원충연, "태양광 발전용 마이크로 인버터의 출력 Trap-CL 필터 설계", 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집, pp.205-206, 2011. 11.
- [11] 신재생에너지 모니터링 시스템, <http://konesis.kemco.or.kr>
- [12] "Smart Grid cyber Security Strategy and Requirements", NIST, January, 2009.
- [13] "AMI System Security Requirements V1.01", UCAIUG, December, 2008.
- [14] "State-of-the-art technologies & protocols Version:1.0", OPEN Meter, June, 2009.
- [15] 신영식, 최홍준, 차인수, 윤형상, "30kW 태양광시스템의 특성과 모니터링 구축에 관한 연구", 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, pp.147-151, 2008. 6.

저 자 약 력



홍성웅

이메일 : leoking@yousys.co.kr

- 1996년 청주대학교 전자계산학과(공학사)
- 1998년 청주대학교 컴퓨터정보공학과(공학석사)
- 2013년 청주대학교 컴퓨터정보공학과(공학박사)
- 2012년 (주)뉴한시스 연구소장
- 2012년~현재 (주)유시스템 이사
- 관심분야 : 인공지능, 상황인식, 임베디드 시스템



김평중

이메일 : pjkim@cpu.ac.kr

- 1985년 충남대학교 계산통계학과(이학사)
- 1995년 KAIST 전산학과(공학석사)
- 2000년 충남대학교 컴퓨터학과(이학박사)
- 2004년~2005년 Wright State University 방문연구원 (KOSEF 박사후 연수 사업)
- 1995년 전자계산기조직응용기술사
- 2008년 재난관리지도사
- 2010년 수석감리원
- 1987년~1988년 포항종합제철(주)전산기술직
- 1988년~1998년 한국전자통신연구원(선임연구원)
- 1998년~현재 충북도립대학 컴퓨터정보과 교수
- 1998년~현재 한국정보처리학회 학회지편집위원
- 관심분야 : 네트워크 소프트웨어, 상황인식, 임베디드 시스템