

이번호에서는 태양광발전시스템에서 가장 중요한 파워컨디셔너에 대해서 집중적으로 설명하기로 한다. 파워컨디셔너는 크게 태양전지의 직류출력을 교류로 변환하여 전력을 공급하는 인버터부와 계통측에 이상 등이 발생할 때 장치를 안전하게 정지시키는 계통연계 보호장치부로 구성된다.

인버터는 태양광발전시스템에서 가장 중요한 요소중 하나인데 비하여 그동안 그 선정이나 적용사례를 보면 너무나 단순하게 선정되어오고 있음을 알 수 있다. 어레이 구성에 따른 군 단위 계획의 방향에 따라 인버터 용량과 제어방식이 정해지게 되는데 국내의 경우 대부분 특정 인버터에 맞추어 설계를 진행해 버리는 경우가 아주 많다. 메이커의 특성을 잘 이해하고 시설하고자 하는 시스템에 적정하도록 선정함으로써 최대 효율과 안정된 전력을 공급할 수 있다. 이곳에 모든 기술적인 내용을 소개할 수는 없겠지만 앞으로 태양광발전시스템에 관심 있는 분들에게 이 자료가 조금이라도 도움이 됐으면 하는 바람으로 정리해 보겠다.

태양광발전시스템의 계획과 설계Ⅶ

글 _ 이순형(No. 4137) 협회 이사 | (주)선강엔지니어링 대표이사

파워 컨디셔너(인버터)

파워컨디셔너에는 수동적 방식과 능동적 방식의 2종류의 단독운전 방지기능이 내장되어 있다. 수동적 방식이란 연계운전에서 단독운전으로 이행시의 전압파형이나 위상 등의 변화를 잡아서 단독운전을 검출하도록 하는 것이다. 능동적 방식이란 항상 인버터에 변동요인을 부여하여 두고 연계운전시에는 그 변동요인이 나타나지 않고 단독운전시에는 나타나도록 하여 이상을 검출하도록 하는 것으로서 표 1.1에 각 방식의 개요를 표시한다.

수동적 방식으로서 최근 많이 사용하고 있는 전압위상 도약 검출방식 및 능동적방식의 일례로서 무효전력 변동방식에 관해서 설명한다.

(1) 수동적 방식 - 전압위상 도약검출 방식

계통에 연계하는 파워컨디셔너는 상시 역률 1에서 운전되어 전압과 전류는 전부 동상에서 유효전력만 공급하고 있다. 단독운전 상태로 되면 그 순간부터 무효전력도 포함해서 공급하지 않으면 안되기 때문에 전압위상이 급변한다. 이때 전압위상의 급변을 검출하는 것이 전압위상 도약검출 방식이다. 본 방식에서는 계통에 접속되어 있는 변압기의 돌입전류 등에서 오작동

하지 않도록 고안되고 있다.

(2) 능동적 방식 - 무효전력 변동방식

파워컨디셔너의 출력전압의 주기를 일정기간 마다 변동 시키면 상시는 계통측의 백과위가 크기 때문에 출력주파수는 변화하지 않고 무효전력의 변화로서 나타난다. 단독운전 상태에서는 일정주기 마다 주파수의 변화로서 나타나기 때문에 이 주파수의 변화를 조속히 검출하여 단독운전의 판정을 행하여 오작동을 방지하기 때문에 주기를 변동시킨 때만 출력의 변동을 검출하는 방법을 취하는 것도 있다.

【표 1.1】 단독운전 방지기능의 개요

(1) 수동적 방식(검출시한 0.5초 이내, 보지시한 5~10초)

종 별	개 요
전압위상 도약 검출 방식	단독운전 이행시의 파워컨디셔너 출력이 역률1 운전에서 부하의 역률에 변화하는 순시 전압위상의 도약을 검출한다. 단독운전 이행시에 위생변화가 발생하지 않는 때는 검출되지 않는다. 오동작이 적고 실용적이다.
제3차 고조파 전압급증 검출 방식	단독운전 이행시의 변압기의 여자전류 공급에 동반하는 전압 변형의 급변을 검출한다. 부하로 되는 변압기와의 조합 때문에 오동작의 확률이 비교적 높다
주파수변화율 검출방식	주로 단독운전 이행시에 발전전력과 부하의 불평형에 의한 주파수의 급변을 검출한다.

(2) 능동적 방식(검출시한 0.5~1초)

종 별	개 요
주파수 시프트 방식	파워컨디셔너의 내부발전기에 주파수 바이어스를 부여하여 두고 단독운전시에 나타나는 주파수 변동을 검출한다.
유효전력 변동방식	파워컨디셔너의 출력에 주기적인 유효전력 변동을 부여하여 두고 단독운전시에 나타나는 전압, 전류, 혹은 주파수 변동을 검출한다. 상시출력이 변동하는 가능성이 있다.
무효전력 변동방식	파워컨디셔너의 출력에 주기적인 무효전력변동을 부여하여 두고 단독운전시에 나타나는 주파수변동 등을 검출한다.
부하변동 방식	파워컨디셔너의 출력과 병렬로 임피던스를 순시적 또한 주기적으로 삽입하여 전압 혹은 전류의 급변을 검출한다.

■ 자동전압 조정기능

태양광발전시스템을 계통에 접속하여 역송전 운전을 행한 경우 전력의 역송 때문에 수전점의 전압이 상승하여 전력회사의 운영범위를 넘을 가능성이 있다.

이것을 피하기 위해서 자동전압 조정기능을 설치하여 전압의 상승을 방지하고 있다. 자동전압 조정기능에는 다음의 2개의 방식이 있다. 단 소용량의 것은 전압상승의 가능성이 극히 적기 때문에 본 기능을 생략할 수가 있다.

(1) 진상무효전력제어

계통에 연계하는 파워컨디셔너는 계통전압과 출력전류의 위상을 동상으로 하여 상시는 역률 1로 운전하고 있다. 연계점의 전압이 상승하여 진상 무효전력 제어의 설정전압 이상으로 되면 역률 1의 제어를 해소하여 인버터의 전류위상이 계통전압보다 나아간다. 그것에 동반하여 계통측에서 유입하는 전류가 늦은 전류로 되어 연계점의 전압을 떨어지는 방향으로 작용한다. 나아가는 전류의 제어는 역률 0.8까지 실행되고 이것에 의한 전압상승의 억제효과는 최대 2~3%정도로 된다.

(2) 출력제어

진상무효전력제어에 의한 전압제어가 한계에 달하고 그래도 계통전압이 상승하는 경우에는 태양광발전 시스템의 출력을 제한하여 연계점의 전압상승을 방지하기 위해서 동작한다.

특히 배전선의 전압이 높은 경우에는 출력제어가 동작하여 발전량이 저하하기 때문에 주의가 필요하다.

■ 직류 검출기능

파워컨디셔너는 반도체 스위치를 고주파로 스위칭 제어하고 있기 때문에 소자의 불균형 등에 따라 그 출력에는 약간 직류분이 중첩한다. 상용주파 절연변압기를 내장하고 있는 파워 컨

디셔너에서는 이 직류분은 절연변압기에서 저지되기 때문에 계통측에 유출되지는 않지만 고주파변압기 절연방식이나 트랜스레스 방식에서는 파워컨디셔너 출력이 직접 계통에 접속되기 때문에 직류분이 존재하면 주상변압기의 자기포화 등 계통측에 악영향을 줄 수가 있다.

이것을 피하기 위해서 고주파변압기 절연방식이나 트랜스레스방식의 파워컨디셔너에서는 출력전류에 중첩되는 직류분이 정격교류 출력전류의 0.5%이하(일본 등 선진 외국의 경우 일반적으로 1%이하)로 되어 있으나 국내의 경우 한전에서 0.5%이하로 요구 하고 있음일 것을 요구하고 있고 직류분을 제어하는 직류제어기능과 함께 만일 이 기능에 장애가 생긴 경우에 파워컨디셔너를 정지 시키는 보호기능이 내장되어 있다.(참고로 그러나 전력계통에 승압용 변압기가 있기 때문에 그런 문제점은 없는 것으로 판단되며 특히 국내 태양광발전시스템에서는 트랜스레스방식을 추천하고 싶다)

■ 직류 지락 검출기능

트랜스레스 방식의 파워컨디셔너에서는 태양전지와 계통측이 절연되어 있지 않기 때문에 태양전지의 지락에 대한 안전대책이 필요하다. 통상 수전점(분전반)에는 누전차단기가 설치되어 있어 옥내배선이나 부하기기의 지락을 감시하고 있지만 태양전지에서는 지락이 발생하면 지락전류에 직류성분이 중첩되어 통상의 누전차단기에서는 보호되지 않는 경우가 있다. 따라서 파워컨디셔너 내부에 직류의 지락검출기를 설치하여 그것을 검출, 보호하는 것이 필요로 한다.(참고로 일본의 유아사제품의 경우 이러한 기능이 아주 잘 되어 있어 오히려 트랜스 방식에 비하여 입력측과 출력측 모두 보호가 가용한 점이 가장 큰 장점이라 하겠다.)

4 정전시의 자립운전 시스템

계통에 연계되는 태양광발전시스템이 계통의 정전시에 계통과 분리된 상태에서 운전하는 것을 자립운전이라 한다. 태양광발전시스템은 가동부분이 없고 연료, 냉각수의 보급이 필요없기 때문에 재해시 등의 정전시에 전력의 공급에 힘을 발휘한다. 자립운전시스템에는 태양전지출력에 상응하는 전력만을 부하에 공급하는 축전지가 없는 시스템과, 야간이나 우천시에도 전력의 공급에 기여할 수가 있는 축전지 취부 시스템이 있으나 여기에서는 축전지 시스템에 대한 기술은 생략하기로 한다(축전지 시스템에 대한 내용과 구체적인 기술적 사항에 대해

서는 "태양광발전시스템의 계획과 설계", 이순형 저 참조)

5 계통연계 보호장치

계통에 연계하여 운전하고 있는 태양광발전시스템에서 계통측이나 인버터측에 이상이 발생한 때는 그것을 검지하여 신속히 인버터를 정지하여 계통측의 안전을 확보하지 않으면 안 된다. 그것을 위하여 전기설비기술기준의 판단기준에서 계통연계보호장치(혹은 동등의 기능을 가진 회로)의 설치가 의무 부칙으로 되어있다. 계통연계 보호장치는 일반적으로 파워컨디셔너에 내장되어 있는 경우가 많다.

역송전이 있는 저압 연계시스템에서는 과전압 계전기(OVR), 부족전압 계전기(UVR), 주파수상승 계전기(OFR), 주파수저하 계전기(UFR)의 설치가 필요하고, 고압 연계에서는 아울러 지락 과전압 계전기(OVGR)의 설치가 필요하다. 고압 연계에서 보호계전기의 설치장소는 지락과전압 계전기(OVGR)를 제외하고 실질적으로 파워컨디셔너의 출력점에서도 좋다. 보호계전기의 표준적인 정정치와 정정시간에 대해서는 전력회사와의 사전협의 사항으로 되어 있어 사전에 충분히 협의하여 결정할 필요가 있다(참고로 구체적인 기술 자료에 대해서는 "태양광발전시스템의 계획과 설계" 이순형 저를 참고하기 바람)

6 파워컨디셔너의 종류와 선정

■ 전기방식과 파워컨디셔너의 구성

파워컨디셔너와 연계하는 계통의 전기방식에는 단상2선, 단상3선, 3상3선(Δ 및 Y 결선)식 등이 있고 파워컨디셔너도 단상용과 3상용으로 구별되어 있는 것이 일반적이다.

따라서 파워컨디셔너를 선정하는 경우는 연계하는 계통의 전압, 상수를 정확하게 파악 하여둘 필요가 있다.

트랜스레스 방식의 파워컨디셔너를 사용하는 경우는 아울러 약간의 주의가 필요로 하며, 파워 컨디셔너의 구성과 계통과의 결선방식(Δ 및 Y 결선 포함)을 일치시킬 필요가 있다.

태양전지는 셀과 후레임 간에 존재하는 정전용량이 있어 직류측에 대지용량이 형성 되지만 이 대지용량은 모듈의 표면이 젖으면 증가하여 경우에 따라서는 μF로 되는 것도 고려해야 한다. 따라서 직류측에 상용 주파수의 대지 교류전압 성분이 존재하면 이 대지용량을 충전하는 누설전류가 흐를 수가 있다. 그렇지만 절연변압기를 사용하고 있는 경우는 직류계통간이 절연

되어 있기 때문에 실제로는 누설전류는 거의 흐르지 않는다.

한편 트랜스레스방식에서는 이 절연변압기가 없기 때문에 누설전류에 의한 누전차단기의 불필요 동작이 발생할 가능성이 있어 직류측에 대지교류 전압성분이 중첩되지 않도록 시스템을 구성할 필요가 있다. 따라서 트랜스레스 방식의 경우는 단상2선식과 단상3선식, 3상 Δ결선과 3상 Y결선과는 명확하게 구별하여 그것에 적합한 파워컨디셔너를 사용할 필요가 있다.(참고로 일본의 유야사 제품의 경우 이러한 문제점 등을 완전히 해결할 수 있어 국내 태양광발전시스템에 적용하도록 추천하고 싶다.)

일반적으로 사용되고 있는 파워 컨디셔너의 실 예를 그림 1.10 ~ 그림 1.12에 표시한다.



【그림 1.10】 벽걸이형 3상 트랜스레스 파워컨디셔너(10kW)

【그림 1.12】 3상 트랜스레스 파워컨디셔너

【그림 1.11】 개인 주택용 단상3선식 (10kW) 트랜스레스 파워컨디셔너

■ 태양전지 전압과 파워컨디셔너

파워컨디셔너의 최대출력 추종제어 범위는 일반개인주택용으로 100~250V, 공공·산업용으로 650V~750V 정도로 선정되는 것이 많다. 따라서 태양전지 어레이의 출력전압도 이 범위가 되도록 직·병렬수를 선정하는 것이 필요하다.(참고로 직류입력동작범위는 제품에 따라 280~500V인 제품도 있기 때문에 설계시 모듈의 어레이 구성에 실수 하지 않아야 한다)

한편 태양전지 모듈을 설치하는 경우는 직렬 접속한 모듈을 동일 일사조건에서 사용하는 것이 원칙으로서 이것을 방지하면 최고로 출력이 적은 모듈에 타 모듈이 끌려들어 출력이 극단으로 저하하는 경우가 있다.(이 부분이 아주 중요하므로 태양광발전시스템의 구성과 설계 경험이 풍부한 설계사무소에서 설계하는 것이 중요하다 하겠다.)

일반적으로 시스템의 효율면에서 살펴보면 직류전압이 높은

편이 효율은 좋지만 앞에서 설명한 내용과 같이 설치형태를 취하면 발전량이 저하하는 역효과가 발생하게 된다. 따라서 용량이 적은 시스템에서는 태양전지의 직·병렬접속의 자유도가 저하하기 때문에 파워 컨디셔너로서는 광범위한 직류입력전압에 대응할 수 있는 것이 요망된다.

■ 파워 컨디셔너 선정의 체크 포인트

파워컨디셔너는 태양광발전시스템을 구성하는 중요한 전자 기기로서 충분한 검토를 거쳐 사용하기 편리하고 좋은 기기를 선정할 필요가 있다. 다음은 인버터를 선정할 때 검토해야 할 부분을 필자의 경험을 통하여 다음과 같이 설명하기로 한다.

(a) 종합적인 체크사항

- 연계하는 계통측(전원측)과 전압이나 전류방식이 상호 일치하고 있는가?
- 인증등록품인가(국내의 경우 아직 인증할 수 있는 시스템이 마련되어 있지 않아 시험성적서로 대체하고 있음)
- 주택용의 경우 미관과 취부는 간단한가?
- 발전사업자용이 아닌 일반 계통연계형의 경우 비상 재해시에 자립운전이 될 수 있는가? 축전지 부착 운전은 가능한가(정전시에도 사용하고 싶은 때)
- 장수명과 신뢰성이 높은 기기인가?
- 보호장치의 설정이나 시험이 간단히 될 수 있는가?
- 발전량을 간단하게 알 수 있는가?
- 서비스 네트워크는 잘 구성 되어 있는가?

(b) 태양광의 유효 이용에 관해서

- 전력변환효율이 높을 것(보통 95% 전후로 나타나고 있는데, 실제 실증데이터를 제출토록 하는 것이 중요하다. 필자가 일본 유아사 연구소를 방문했을 때 한국에서 많이 사용하고 있는 유럽의 유명 제품을 직접 측정한 실증 자료에 의하면 메이커의 카다록 등에 나타난 효율보다 약 2%정도 떨어지고 있음을 확인 할 수 있었다.)
- 최대출력 추종제어(MPPT)에 의한 최대출력의 발생이 될 수 있을 것
- 야간 등의 대기 손실이 적을 것
- 저부하시의 손실이 적을 것

(c) 전력품질 · 공급안정성

- 노이즈의 발생이 적을 것
- 고조파의 발생이 적을 것

- 기동 · 정지가 안정적인 것

■ 국내에 적용되고 있는 파워컨디셔너 검토

태양광발전시스템에 적용하고 있는 각사의 파워컨디셔너의 사양을 살펴보면 주로 소용량이나 개인주택용의 파워컨디셔너이고 출력용량은 보통 10kW미만이 많았다. 또한 공공·산업 시설용이나 발전사업자용 인버터로 10kW, 50kW, 100kW, 250kW가 많았다.(참고로 국내 태양광발전시스템의 경우 1MW급에서는 전기실의 크기를 고려하여 250kW×4대를 사용하는 경우가 많은데, 이 경우에도 앞에서 설명한 자료와 같이 모듈의 정전용량이나 구름의 영향 등에 따른 전압차가 발생하여 인버터나 모듈의 장기적인 신뢰도에도 큰 영향을 미칠 수 있으므로 일반적인 자료에 의한 대용량 선호 경향을 피하고, 현장여건에 적합하도록 100kW급 등을 설계시 종합적으로 검토하여 태양광발전시스템 원래의 목적에 적합하도록 선정하는 것이 바람직하다 하겠다.(이에 대한 자세한 기술적 내용에 대해서는 "태양광발전시스템의 계획과 설계" 이순형 저를 참고하면 좋은 지침서가 될 것이다.)

따라서 다음과 같은 내용을 검토하여 인버터 선정에 주의하기 바란다.

- 인버터 제어방식 : 전압형 전류제어 방식
- 출력기본 파형율 : 95%이상
- 고조파 전류 : 분산형 전원 발전설비로부터 계통에 유입되는 고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 총합 전류 왜형률이 5%를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다.
- 발전설비를 제외한 국부 연계계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통연계점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는)발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율이 아래의 표 값 이하여야 한다.

【표 1.2】 고조파 기준

고조파 차 수	h(11)	11≤h(17)	17≤h(23)	23≤h(35)	35≤h	TDD
비율	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

- 짝수 고조파는 위의 각 구간별로 흡수 고조파의 25% 이하로 한다.

7. 파워컨디셔너의 선정에 대한 설계시 고려사항

국내 태양광발전시스템 설계시 다음과 같은 사항들을 사전에 파악함과 동시에 현장 여건에 적합하고 가장 경제적이며 최대 효율이 나올 수 있도록 선정하는 것이 중요하다.

예를 들어 태양광발전시스템 1MW를 기준으로 파워컨디셔너의 용량과 대수를 선정해 보면 일반적으로 이 설비에 인버터 용량을 250kW로 하여 4대만 설치하는 경우가 많지만 단위 용량을 크게 하게 되면 이에 따라 어레이 구성이 넓어지고 선로의 누설전류나 모듈의 정전용량 등 장기적으로 많은 문제점들이 선진외국에서는 이미 보고되고 있으나, 국내에서는 태양광발전설비에 대한 경험과 실적이 5년정도밖에 되지 않았기 때문에 아직까지는 각종 문제점들이 보고되지 않고 있는 실정이다.

따라서 전기실의 면적을 줄여야 한다는 이유 등으로 무조건 대용량의 인버터를 선정하기 보다는 시설용량과 전기실의 구성 및 배치에 따른 효율성을 고려하여 어레이 구성에 가장 효율적인 100kW급 인버터를 효과적으로 적정하게 구분하여 시설하도록 하는 것이 중요하다. 참고로 선진 외국의 경우 소용량 단위로 인버터를 선정하고 그 설치지점을 옥외형으로 하여 모듈이 설치되어 있는 현장에 어레이 구성단위로 옥외에 설치하는 경우가 있다는 현실을 감안하여 국내에서도 깊은 관심을 갖고 검토되어야 할 것이다.

【표 1.3】 설계시 참고자료

항 목	내 용	기 타
설치장소	옥내, 옥외형 (조건에 따라 선택)	-
사용온도조건(°C)	-10~40	-
입력동작전압범위(V)	DC 200~500, 650~750	어레이 구성에 중요한 요소임
정격출력전력(kW)	10kW, 50kW, 100kW, 250kW	메이커에 따라 다름
보증기간(년)	2	보통 2년을 기준으로하고 있음
외형치수	900×900×1900 (100kW의 경우)	250kW의 경우 1200mm인 경우도 있음

- (주) 1. 인버터를 병렬로 여러대를 연결하는 경우에는 종합적인 기술적 검토가 필요하므로 전문가의 자문이 필요할 것이다.
2. 기타 자세한 설계자료에 대해서는 "태양광발전시스템의 계획과 설계" 이순형 저를 참고하기 바란다.



【사진 1】 일본 인버터전문 회사인 유야사를 방문하여 Yamaguchi 박사와 함께(이순형)



【사진 2】 인버터 100kW의 내부

