

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

◆ 지면관계로 일부 파워 컨디셔너(인버터) 내용을 다음호에 게재됨.

## 파워 컨디셔너(인버터)

### 1. 파워컨디셔너의 개요

이번호에서는 파워컨디셔너의 개략적인 부분만 설명하고, 파워컨디셔너의 중심적인 인버터에 대해서 설명하기로 한다.

#### ■ 파워컨디셔너 기능

파워컨디셔너는 태양전지에서 출력된 직류전력을 교류전력으로 변환하고, 발전사업자용의 경우 전력계통(특고압 22.9kV, 저압 220/380V로 공급)에 역송전하는 장치이며, 건축물 등에 적용하는 계통연계형의 경우에는 교류계통에 접속되는 부하설비에 전력을 공급하는 장치를 말한다.

또한 파워컨디셔너는 태양전지의 발전전력을 최대한 효율을 높게 교류로 변환하여 제어를 함과 동시에 일반 배전계통과 연계운전을 하기 때문에 전력품질 확보에 관련된 계통연계기술 기준(한국전력공사) 및 전기설비기술기준의 판단기준에 맞도록 그 기능을 확보하여야 한다.(참고로 일본의 경우, 전력품질 확보에 관련된 계통연계 요건 가이드라인 및 전기설비 기술기준의 해석에서 요구 하고 있음)

전기품질 확보에 관련된 계통연계에 대해서는 기본적으로 파

워컨디셔너와 연계되는 계통의 전기방식과를 일치시키고 있다. 이 전기방식에는 단상 2선, 단상 3선, 3상3선(Δ 및 Y 결선)식 등이 있으며 파워컨디셔너도 단상용과 삼상용으로 구별되는 것이 일반적이다.

#### ■ 파워 컨디셔너의 회로방식

파워컨디셔너의 회로방식에는 여러 가지가 있겠지만 다음 3가지 방식을 비교 설명하기로 한다.(그림 1.1 참조)

- ① 상용주파 변압기 절연방식
- ② 고주파 변압기 절연방식
- ③ 트랜스레스 방식

상용주파 변압기 절연방식은 PWM 인버터를 이용해서 상용주파수의 교류를 만든다. 즉 상용주파수의 변압기를 이용해서 절연과 전압변환을 하여 내뢰성이나 노이즈컷에 우수하지만 상용주파 변압기를 이용하기 때문에 중량이 무겁고 효율이 떨어진다.(현재 국내에 가장 많이 적용하고 있는 방식이지만, 이는 특별히 검증되지 않고 일반적인 관례나 메이커측 영업에 의해 적용해 오고 있는 부분이 기술자의 한 사람으로서 무척 아쉽게 느끼고 있는 부분중 하나이다.)

고주파 변압기 절연방식은 소형, 경량이지만 회로가 복잡하고 가격이 고가이다.

【그림 1-1】 파워 컨디셔너의 회로방식

	회로도	설명
1. 상용주파 변압기 절연방식		태양전지의 직류출력을 상용주파의 교류로 변환한 후 변압기로 절연한다.
2. 고주파 변압기 절연방식		태양전지의 직류출력을 고주파의 교류로 변환한 후 소형의 고주파 변압기로 절연을 한다. 그 후 일단 직류로 변환하고 재차 상용주파의 교류로 변환한다.
3. 트랜스레스 방식		태양전지의 직류출력을 DC-DC 컨버터로 승압하고 인버터에서 상용주파의 교류로 교환한다.

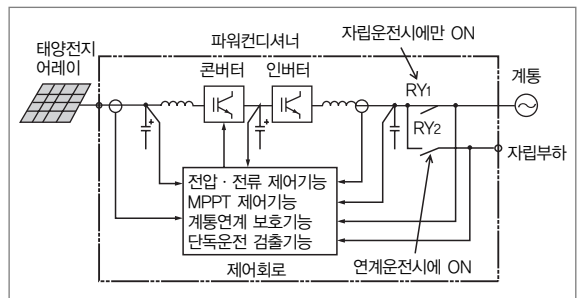
트랜스레스 방식은 소형경량으로 가격적인 측면에서도 안정되고, 신뢰성도 높지만 상용전원과의 사이에는 비 절연이라는 점이다. 그러나 필자는 이 부분에 대해서 최근에 완전히 극복한 제품이 출현되고 있기 때문에 오히려 더 신뢰되나 효율적인 측면에서 적극 권장하고 싶은 방식이라 하겠다.(이 방식은 일본에서 가장 많이 사용하는 방식이며, 비절연에 대한 여러가지 안전 등급을 향상시켜 최근에는 이 방식의 신뢰도가 높다고 할 수 있다. 필자는 앞으로 이 방식을 설계에 적극 적용하라고 권하고 싶다. 태양광발전이기에 신재생에너지를 얻기 위해서는 무엇보다 범국가적인 차원에서 접근하여야 할 것이다.

그러나 현재 국내실정을 자세히 들여다보면 그렇지 못한 점이 아주 많다. 한국전력공사에서 규정하고 있는 계통연계기술 기준을 보면 일본의 경우에는 전기설비기술기준 해석에서 규정하고 있는데 반하여 우리나라에서는 한국전력공사에서 기준을 만들어 발전사업자나 계통연계 수용자에게 지키도록 하고 있다. 그 내용중 고조파에 대한 부분과 주파수 허용 범위 등을 보더라도 적용의 폭을 너무 정밀하게 정하여 인버터 등을 선정하는데 아주 제한적인 요소가 많아 특정제품 외에는 사용이 불가능하도록 하고 있는 점도 태양광발전시스템의 보급과 기술발전이 저해요소로 작용하고 있는데, 고조파의 발생 제한의 지점이라던가 주파수 변동에 대한 부분이라던가, 배전선로에 전압강하 2%를 기준으로 3MW이상을 연결하지 못하도록 하는 점 등이 그 대표적 예라 할 수 있다.) 참고로 상용주파 변압기 절연방식은 독일의 SMA사 등 제품에서 시판하고 있는데, 우리나라 태양광발전시스템의 전체적인 전력계통을 분석해 보면(태양광발전시스템의 계획과 설계, 이순형 저 참조) 인버터 사이에 절연변압기를 사용하는 방식의 장점을 찾아보기 힘들다.

이번호에서는 태양광발전시스템의 국내 적용에 도움이 될 수 있도록 트랜스레스방식에 대해서만 설명하기로 한다.

■ 트랜스레스 방식의 회로구성

경제적인 측면, 치수, 중량 및 효율면에서 우수하다. 다음 그림 1.2는 트랜스레스 방식의 회로 예를 표시한다. 이 방식에서는 태양전지의 직류전압을 트랜스레스 인버터의 필요로 하는 전압까지 승압(약 700V)하는 인버터와 직류전력을 교류전력으로 변환하는 인버터 및 계통연계 보호릴레이 기능을 가진 제어회로로 구성된다. 아울러 계통과 연계하기 위하여 기계적 개폐기를 설치하여 이상시에는 계통에서 인버터를 전기적으로 분리할 수 있는 방식으로 되어있다.

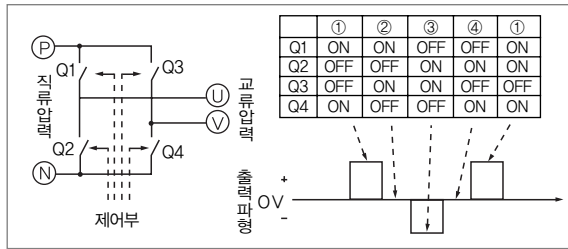


【그림 1.2】 트랜스레스 방식 파워 컨디셔너의 회로구성

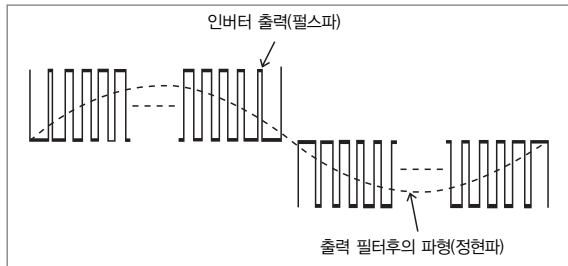
■ 인버터의 원리

인버터는 그림 1.3의 표시와 같이 트랜지스터나 IGBT 등의 스위칭 소자를 이용하여 구성한다. 스위칭 소자의 ON-OFF를 규칙적으로 반복함으로써 직류입력에서 교류출력을 발생시키고 있다. 이처럼 단순한 ON-OFF회로에서 만든 인버터의 출력 파형에는 고조파가 많이 포함되어 있기 때문에 실용적이지는

않다. 그렇기 때문에 고주파 PWM(Pulse Width Modulation) 기술을 구사하여 정현파의 양단 부근에는 전압의 폭을 좁히고 중앙부는 폭을 넓혀서 반 사이클 사이에 몇 회도 같은 방향으로 동작을 행한다. 그림 1.4에 표시하는 펄스파의 열을 만든다. 펄스파를 간단한 필터를 통해서 점선으로 표시하고 있는 정현파를 만든다.



【그림 1.3】 인버터의 원리

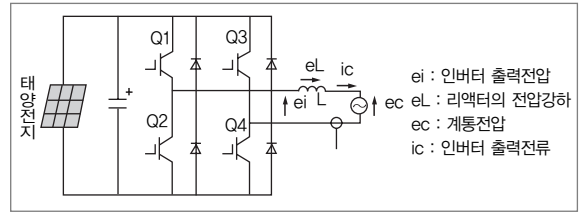


【그림 1.4】 인버터의 출력 파형

## 2. 파워컨디셔너의 기본동작

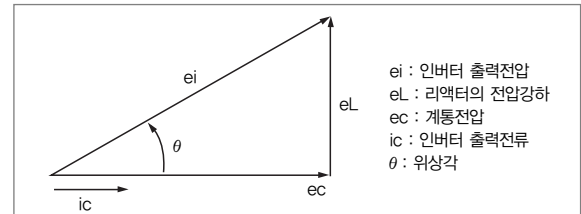
여기서는 계통에 연계하는 파워컨디셔너가 태양전지에 의해서 발전된 전력을 어떻게 해서 계통측에 역 송전하는가에 관해서 설명하기로 한다. 계통에 연계한 파워컨디셔너는 낮은 수위의 물을 끌어올리는 펌프와 같은 동작을 하여 태양전지에서 발전된 전력을 상류의 계통에 밀어 올리도록 동작하는 것과 같은 원리이다. 실제로는 계통 전원측과 동기를 하여 계통측 전압과 필터를 통하기 전의 파워컨디셔너측의 출력전압 위상차를 조정함으로써 전력의량과 흐르는 방향을 조정하고 있다. 파워컨디셔너측의 전압위상을 계통측보다 앞서가면 계통측으로 전력이 보내지게 된다. 역으로 계통측보다 늦어지면 OFF가 되도록 하는데, 혹은 직류측에 축전지가 있는 경우에는 계통측에서 축전지를 충전하도록 파워컨디셔너측으로 전력을 보내게 된다. 이 동작은 발전기의 병렬운전과 유사하다.

여기에서 파워컨디셔너의 중핵인 인버터의 출력전력 조정방



【그림 1.5】 전류제어 전압형 인버터의 기본회로

법에 관해서 그림 1.5에 표시하는 직류제어전압형 인버터를 예로 하여 상세하게 기술해 보기로 한다. 인버터는 계통전압을 항상 감시하고 있어 출력을 증가시키고 싶은 경우에는 종전보다 더 게이트 점호시간을 빨리하여 결과로서 인버터 출력전압의 위상을 계통전압보다 앞서가도록 위상이 되도록 동작한다. 구체적으로는 오차신호의 위상을 앞서가도록 한다,



【그림 1.6】 계통연계 인버터의 출력 벡터도

그림 1.6의 표시처럼 계통전압과 인버터 출력전압의 위상각  $\theta$ 를 크게 함으로서 출력전력을 증대시킨다.

그림 1.6에 표시한 벡터도는 인버터의 출력전압 및 출력전류와 계통전압과의 관계를 표시하고 있다. 리액터 L은 연계 리액터라 부르는 것으로서 PWM 파형출력의 평활 리액터를 겸하고 있다.

이 벡터도에서도 알 수 있는 것처럼 인버터의 출력전류  $i_c$ 는 계통전압  $e_c$ 와 항상 동상으로 되도록 제어되고 리액터의 전압강하  $e_L$ 은 출력전류  $i_c$ 에 대해서 항상  $90^\circ$  위상이 앞서도록 동작한다. 이 그림을 참조하여 곧 인버터의 출력전력 P를 구해 본다.

$$P = e_c \cdot i_c \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

또한 리액터 L의 임피던스를  $wL$ 로 하면

$$i_c = \frac{e_L}{wL} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

로 되고 그림 1.6의 벡터도처럼

$$e_L = e_i \cdot \sin \theta \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

로 되니까 식(1.1)에 식(1.2), (1.3)을 대입하면

$$P = \frac{e_c e_i \sin \theta}{wL} \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

로 된다. 지금부터  $e_c$  와  $e_i$  와 위상각  $\theta$ 를 제어하면 출력전력이 제어 될 수 있는 것을 알 수있다.

또한 최대출력 추종제어에서도 여기에서 기술한 것과 같은 방식으로 최대전력 점을 감시 하면서 위상각  $\theta$ 를 변화시켜 항상 태양전지 출력이 최대로 되도록 자동제어를 행하고 있다.

### 3 파워 컨디셔너의 기능

파워컨디셔너는 직류를 교류로 변환할 뿐 아니라 아래의 표 것처럼 태양전지의 성능을 최대한으로 인출하기 위한 기능, 이상시나 고장시를 위한 보호기능 등을 구비하고 있다.

- ① 기후에 따라서 변동하는 태양전지의 출력을 될 수 있는 한 유효하게 출력하기 위하여 자동운전 정지기능, 최대전력 추종제어 기능.
- ② 계통보호를 위해서 단독운전 보호기능, 자동전압 조정기능.
- ③ 계통이나 파워 컨디셔너에 이상이 있는 때에 안전하게 분리하거나 인버터를 정지 시키는 기능. 여기에서는 주요한 기능에 관해서 설명한다.

#### ■ 자동운전 정지기능

파워컨디셔너는 아침 일찍 일출과 함께 일사강도가 증대하여 출력이 발생되는 조건으로 되면 자동적으로 운전을 개시한다. 일단 운전을 시작하면 태양전지의 출력을 자체적으로 감시하여 자동적으로 운전한다. 해가질 때는 출력이 발생되는 한 운전을 계속하여 일몰시에 운전을 정지한다. 흐린 날이나 비오는 날에도 운전을 계속할 수가 있지만 태양전지 출력이 적게 되고 파워 컨디셔너 출력이 거의 0이 되면 대기상태로 된다.

#### ■ 최대전력 추종제어

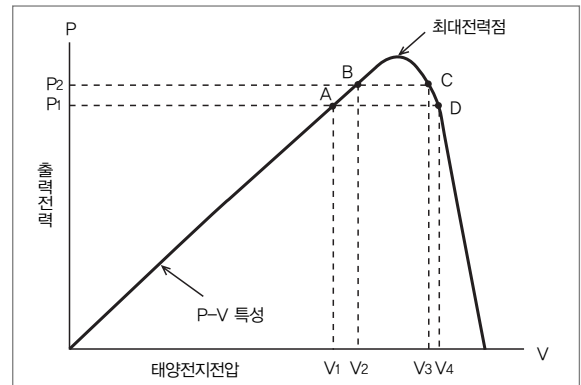
태양전지의 출력은 일사강도나 태양전지 표면온도에 의해서 변동한다. 이런 변동에 대해서 태양전지의 동작점이 항상 최대출력이 추종되도록 변화시켜 태양전지에서 최대출력을 발생하는 제어를 최대출력추종(MPPT : Maximum Power Point Tracking)제어라 한다.

MPPT 제어는 파워컨디셔너의 직류동작전압을 일정시간 간격으로 약간 변동시켜 그때의 태양전지 출력전력을 계측하여 전회와의 비교를 행하고 항상 전력이 크게 되는 방향에 파워컨디셔너의 직류전압을 변화시킨다. MPPT 제어의 일례를 그림

1.7에 표시한다. 예를 들면 A 점에서 동작하고 있는 때에 동작전압을 V1에서 V2에 변화시켜 출력전력이 P1(P2로 된 경우 재차 V2에서 V1에 되돌려서도 P1(P2로 된 때 동작전압을 V2로 변화 시킨다. 또한 D점에서 동작하고 있는 경우에는 역으로 동작전압을 V4에서 V3으로 변화 시킨다. 이같이 MPPT 제어는 출력전력의 증감을 감시하여 항상 최대 출력점에서 동작하도록 제어한다.

#### ■ 단독운전 방지기능

태양광발전시스템이 계통에 연계되어 있는 상태에서 계통측에 정전이 발생한 경우에 부하전력이 파워 컨디셔너의 출력전력과 동일하게 있는 경우에는 파워컨디셔너의 출력전압, 주파수는 변화하지 않고 전압. 주파수 계전기에서는 정전을 검출할 수 없다. 그 때문에 계속해서 태양광발전시스템에서 계통에 전력이 공급될 가능성이 있다. 이 같은 운전상태를 단독운전이라 한다.



【그림 1.7】 최대출력 추종제어의 예

단독운전이 발생하면 전력회사의 배전망에서 전기적으로 끊어져 있는 배전선에 태양광발전시스템에서 전력이 공급되어 보수점검자에 재해를 부여할 염려가 있다. 이 때문에 태양광발전시스템의 운전을 정지할 필요가 있지만 단독운전 상태에서는 앞에 기술한 것처럼 전압계전기(OVR, UVR), 주파수 계전기(OFR, UFR)에서는 보호할 수 없다. 그 대책으로서 단독운전 방지기능이 설치되어 안전하게 정지할 수 있도록 되어 있다.