

## 태양광발전 5kW에서 발생하는 전압, 전류고조파 실측 분석

윤기갑, 조민호, 김상준, 장상옥, 안정식  
한전전력연구원 전력계통연구실

### A study on the measurements and analysis of harmonics obtained from 5kW PV systems

Gi-Gab Yoon, Min-Ho Cho, Sang-Jun Kim, Sang-Ok Jang, Jeong-Shik Ahn  
KEPRI Power System Lab.

**Abstract** - 본 논문은 최근 대체에너지원으로 각광받고 있는 주택용 태양광발전시스템에 전력변환 장치로 이용되고 있는 계통연계형 5kW 태양광 인버터에 대한 현장 실계통의 고조파를 측정하여 전압 및 전류 고조파왜형을에 대한 분석을 시행하였다.

#### 1. 서 론

태양광발전(Photovoltaic Power Generation)은 대체에너지 발전기술 중에서 분산형 전원으로서 가장 상용화에 근접하고 있으며, 미래의 자원으로 대체할 수 있는 유력한 대체에너지원으로 각광을 받고 있을 뿐 아니라, 최근 문제되고 있는 환경문제 해결에도 부합할 수 있는 특성을 갖고 있다. 또한, 운전 및 유지보수가 용이하며, 발전규모 선택이 자유롭다는 장점을 가지고 있다. 특히, 태양광발전의 최대출력 시간대가 하절기 peak 전력 소비 시간대와 비슷하여 대규모 집중형 뿐만 아니라 주택과 건물의 지붕, 옥상 혹은 벽면 등에 설치함으로써 전력수급 불균형 해소에도 기여 할 수 있고, 국토의 효율적 사용이 가능하여 전력공급원으로 그 활용 가치를 더하고 있다. 그러나 산업이 발전하면서 수용가측에서 더 나은 전력품질을 원하는 만큼 이에 부합하는 양질의 전력을 공급해야한다. 또한 전력전자 소자를 이용한 기기의 보급이 확대됨에 따라 고조파의 피해가 늘어나고 있어 이에 대한 깊은 연구가 필요하다.

본 논문은 주택용 태양광발전시스템에 전력변환 장치로 이용되고 있는 계통연계형 5kW의 인버터에서 발생하는 전압, 전류고조파에 대한 실측을 통해 데이터를 수집 및 비교 분석하여 이에 대한 고조파의 문제점과 대응책을 찾고자 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 태양광 발전시스템의 구성

5 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템은 태양광을 받아 직류전원을 발생시키는 태양전지 모듈 20 개를 직렬로 3 병렬로 이루어져 있다. 여기서 발생된 직류전원을 교류전원으로 변환시키기 위한 상용변압기 방식의 3 kVA급 인버터와 이를 배전 계통에 연계시키는 계통연계·보호설비 및 운전 자료의 측정, 감시 및 저장을 위한 데이터 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 그림 1은 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성도를 나타내고 있다.

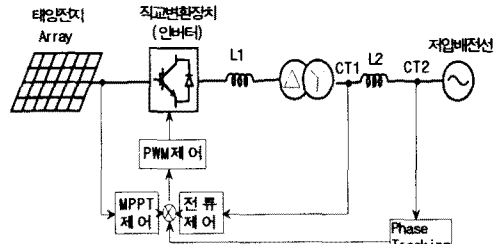


그림 1. 계통 연계형 태양광 발전시스템 구성도

##### 2.2 고조파 종합 왜형률(THD)

고조파 종합 왜형률은 식(1)과 같다. THD의 값이 크면 저그리짐이 많은 파형이 되며, 0에 가까울수록 정현파에 근접한 파형을 얻을 수 있다.

고조파 종합 왜형률(Total Harmonic Distortion):

$$THD = \frac{\text{전고조파의실효값}}{\text{기본파의실효값}} \quad (1)$$

가. 전압 고조파

\*전압 고조파 종합 왜형률( $THD_v$ ):

$$THD_v = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} v_n^2}{v_1^2}} \times 100 [\%] \quad (2)$$

( $v_n$ : n차 고조파 전압  $v_1$ : 기본파 전압)

전압 고조파를 각각 조파별로 제공하여 합한 후 기본파 제공으로 나눈 값에 루트를 적용하여 종합왜형률( $THD$ )을 얻는다.

나. 전류 고조파

전류 제한치는  $THD_i$ 와  $TDD_i$ 를 사용할 수 있다.  $THD_i$ 의 경우 식(3)에서와 같이 분자인 고조파 성분의 크기보다는 분모인 기본파 전류의 크기에 더 많은 영향을 받기 때문에 경부하와 중부하시 실제 고조파 왜형의 크기를 지수로 반영하기 힘들다. 이를 해결하고자 식(4)와같이 기준이 되는 전류값으로 고정시켜 나누는 지수가  $TDD_i$ 이다.

\*전류 고조파 종합 왜형률( $THD_i$ ):

$$THD_i = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} i_n^2}{i_1^2}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

( $i_n$ : n차 고조파 전류  $i_1$ : 기본파 전류)

\*전류 종합 부하 왜형률( $TDD_i$ ):

$$TDD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} i_n^2}}{I_L} \times 100 [\%] \quad (4)$$

$i_n$  : n차 고조파 전류

$I_L$  : PCC(공통결합점)에서의 최대 부하전류. 이전 12달의 월간 최대 부하전류의 평균으로 계산하거나 추정해서 사용할 수 있음. 신규고객일 경우, 예상되는 부하곡선을 이용하여 최대 부하전류를 추정.(본 논문은 맑은 날 3일 동안 측정한 값 중 최대값을 취득하였음)

### 2.3 고조파 측정 및 분석

#### (1) 측정위치

태양광의 고조파를 측정하기 위해서 인버터 후단 교류 출력단자에서 전압 프로브와 전류 클램프를 연결하여 측정하였다.

#### (2) 측정방식

데이터의 취득은 매 10분마다 1초씩 전압 및 전류 파형을 저장하였으며, 500k 샘플링을 하여 50차까지의 고조파를 측정하였으며 측정기간은 3박 4일 동안 매 10분마다 1초씩 총 데이터 144회의 데이터를 저장하였다. 본 논문에서는 3박4일의 데이터 중 24시간 측정치를 대상으로 분석하였다.

#### (3) 분석형태

- (가) 고조파전압 24시간 최대(144개 샘플중에서 차수별로 최대치만 모아둔 값) 및 최대전류가 흐를 때 전압고조파 분포 비교
- (나) 고조파전압 24시간 최대 및 최대THD<sub>v</sub>일때 전압고조파 분포 비교
- (다) 고조파전류 24시간 최대 및 최대전류가 흐를 때 전류고조파 분포 비교
- (라) 고조파전류 24시간 최대 및 TDD<sub>i</sub>가 최대일 때의 전류고조파 분포 비교
- (마) 전력변화에 따른THD<sub>v</sub>, TDD<sub>i</sub>, THD<sub>i</sub>

태양광 발전은 발전 특성상 태양빛을 직류에너지로 변환하고 그 에너지를 다시 인버터를 통하여 교류전력을 발생하는 만큼 태양이 떠있는 동안에만 양질의 전류를 제공한다. 인버터의 용량이 작은 경우에는 계통에 별다른 영향을 미치지 못하나 인버터의 사용이 증대되는 시점에서 발생하는 고조파의 증가에 의해 여러 문제가 발생할 우려가 있다. 그림2부터 그림4까지는 태양광발전의 전압, 전류파형을 나타낸 것이다. 전류제어를 하기 때문에 전압파형은 일정하게 유지되며, 이에 반하여 전류파형은 태양광이 약한 새벽 6시에는 전류크기가 작을뿐 아니라 파형이 매우 일그러져 있다가 태양광이 강해질수록(10시, 13시) 약간의 노이즈를 가진 정현파 형태를 갖추며 그 크기도 커짐을 알 수 있었다.

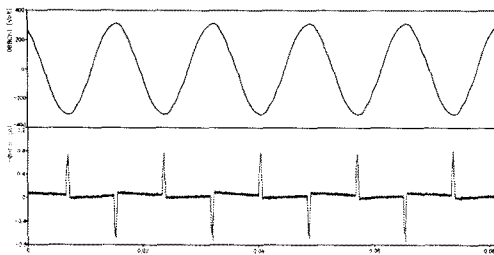


그림2 태양광발전 전압, 전류파형(06:00시)

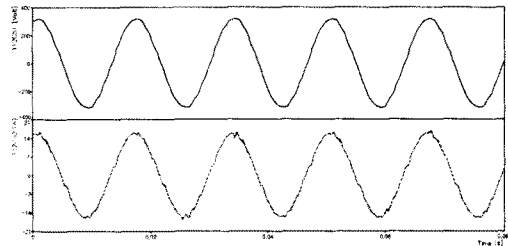


그림3 태양광발전 전압, 전류파형(10:00시)

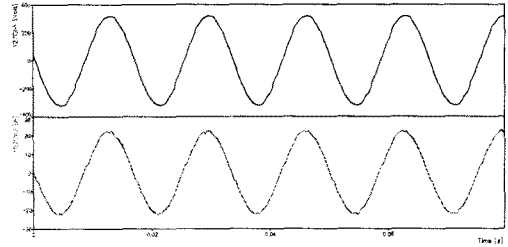


그림4 태양광발전 전압, 전류파형(13:00시)

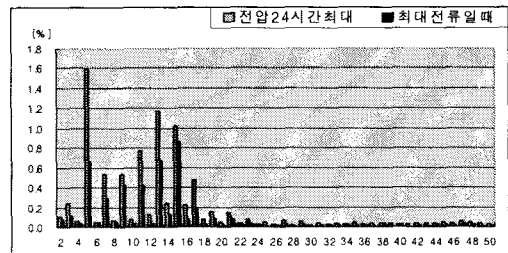


그림5 고조파전압 24시간 최대 및 최대전류가 흐를때의 전압고조파 분포

고조파 전압 24시간 최대값은 차수별로 24시간 144개의 샘플 중 최대값만을 모아둔 것으로 각 조파의 한계치를 나타낸다. 최대전류가 흐를 때 전압고조파는 15조파가 최대0.9%로 나타났으나 기본파 대비 1% 이하로 나타나 계통에 미치는 영향이 작음을 알 수 있었다.

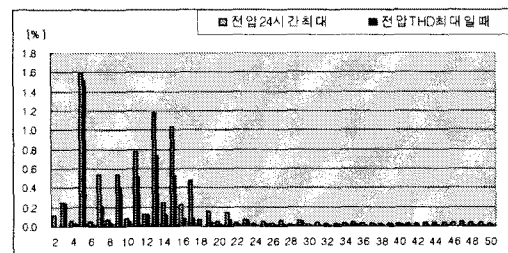


그림6 고조파전압 24시간 최대 및 THD<sub>v</sub>가 최대일 때의 전압고조파 분포

최대 THD<sub>v</sub>는 1.9%로 국내 기준치 3%이하로 양호하며 그 중 5조파가 1.5%로 크게 나타났고 15조파 이후는 0.1%이하로 미미함을 알 수 있었다.

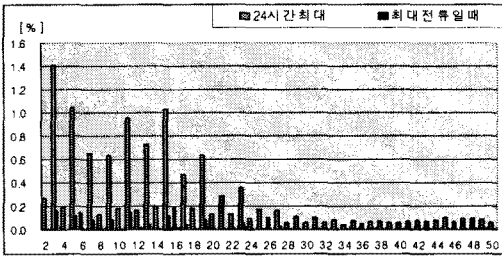


그림7 고조파전류 24시간 최대 및 최대전류가 흐를때의 전류고조파 분포

고조파 전류 24시간 최대값은 차수별로 24시간 144개의 샘플 중 최대값만을 모아둔 것으로 각 조파의 한계치를 나타낸다. 최대전류가 흐를 때 전류고조파는 7, 9조파가 최대0.65%로 나타났으며 19조파 이후는 0.1% 이하로 나타났다.

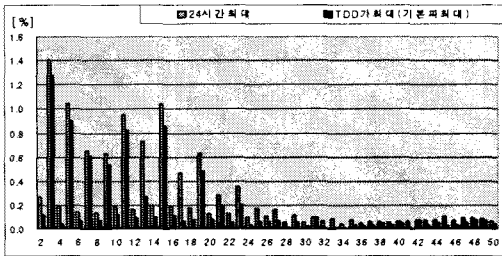


그림8 고조파전류 24시간 최대 및 THDi가 최대일 때의 전류고조파 분포

최대 THDi는 2.26%로 IEEE Std. 519 기준치 5% 이하로 양호하며 그 중 3조파가 1.3%로 크게 나타났고 5, 11, 15조파가 0.8%로 나타났으며 25조파 이후는 0.1% 이하로 미미하게 나타났다.

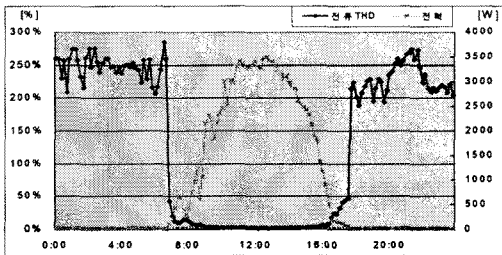


그림9 전력변화에 따른 THDi

전력변화에 따른 THDi는 태양광이 없거나 약한 시간인 18시 이후부터 새벽 6시까지 최대 270%로 매우 높게 나타났다.

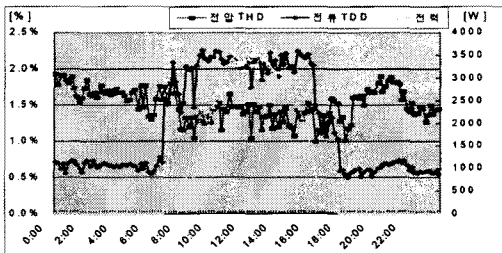


그림10 전력변화에 따른 THDv, TDDi

전력변화에 따른 THDv는 새벽시간은 대략1.7%정도

이며 태양광이 강해지는 9시부터 1.4%로 약간 감소했다가 일몰시간 18시 이후에 다시 약간 증가하였다. 전력변화에 따른 TDDi는 일출 시간에 0.7% 내외의 TDDi를 나타낸 후, 태양광이 점차 강해지면서 9시부터 2.0% 이상의 TDDi값을 나타냈다. 태양광이 약해지는 17시부터 TDDi는 점차 감소하여 일몰시간인 19시경에 0.6%로 되었다. THDi와 TDDi를 비교하였을때 THDi는 태양광이 없는 야간과 새벽시간에 약250%로 크게 나타나지만 정부하시에 측정된 것이기 때문에 실제 계통에는 영향을 미치지 않는다.

### 3. 결 론

태양광 발전은 인버터를 통하여 직류를 교류로 변환하여 출력을 내기 때문에 인버터에서 고조파가 발생한다. 전류제어를 하여 전압의 변동은 미세하며 태양광의 세기에 따라 전류값의 변동이 크게 나타났다.

본 분석결과를 통해 계통연계형 5kW 태양광 인버터의 THDv, TDDi의 값과 부하 변동에 따른 고조파의 경향을 알 수 있었으며, 고조파에 포함된 THDv의 한계와 TDDi의 한계를 확인 할 수 있었다.

기존에는 고조파를 25조파 이내로 측정하였으나, 본 실험에서는 50조파까지 측정하여 실제적으로 25조파 이후의 고조파를 분석하여 조파별 분포를 확인하였다.

특히 태양광 전류고조파는 태양광이 없는 야간시간에는 THDi의 값이 최대 270%로 나타나 매우 좋지 않은 파형을 나타내지만 계통측에서는 의미 없는 값이므로 TDDi로 분석하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] "50kW 계통연계형 태양광 발전시스템 개발" 최종보고서, 전력연구원, 1999
- [2] 분산전원 계통연계 기술지침 JEAG9701-2001, 일본 전기협회
- [2] IEEE Std.519