

## 저용량 태양광 발전기가 집중 배치된 저압 계통의 전기품질 측정 및 분석

채유규\*, 김재언\*\*, 윤기갑\*, 서정출\*  
\*한전 전력연구원, \*\*충북대학교

### The power quality measurement and analysis of concentrated PV system in LV distribution system

Woo-kyu Chae\*, Jae-un Kim\*\*, Gi-gab Yoon\*, Jung-chul Seo\*  
\*Korea Electric Power Research Institute, \*\*Chungbuk national university

**Abstract** - 최근 정부의 '태양광주택 10만호 보급사업'으로 저압계통 연계형 태양광 발전시스템이 배전계통의 곳곳에 도입되었다. 기존에는 주로 저용량 태양광(3kW 내외)이 1대씩 연계되어 계통에 큰 영향을 주지 않았지만, 최근에는 공동주택 등에 30-100대씩 집중적으로 도입되고 있어 여러 가지 문제점이 나타나고 있다. 이와 관련하여 본 논문에서는 50kVA 주상변압기 1대에 2.3kW급 태양광 32대가 연계된 지역의 전기품질을 측정하고 그 문제점을 분석하였다.

태양광 주택단지 인입지점에서 측정결과 전압이 250V를 상회하는 경우도 있었으며, 주상변압기 2차 직하는 태양광이 연계된 A상의 경우 B상, C상에 비하여 약 2V 높은 전압을 기록하였지만 그 값은 정상 범위였다. 전압 상승 요인의 분석결과 태양광의 연계용량이 변압기의 용량을 크게 초과하였으며 저압선도 상위 규격으로 교체될 필요가 있었다.

#### 1. 서 론

화석연료의 과다한 사용으로 인한 고갈과 환경과파 등의 문제로 태양광 발전, 풍력발전, 매립가스 발전 등과 같은 신·재생에너지에 대한 관심이 높아졌다. 실제로 신·재생에너지는 우리나라의 배전계통 곳곳에 분산전원의 형태로 연계되어있다. 그러나 이러한 분산전원의 배전계통에 대한 연계가 환경보호 및 에너지 절감이라는 측면에서는 긍정적인 효과를 나타내고 있지만 전력공급자 측면에서는 그것으로 인한 전기품질 저하 등의 심각한 문제를 안고 있는 것이 사실이다.

태양광 발전의 경우 산업자원부와 에너지관리공단 주관으로 용자지원제도, 보급보조사업, 태양광주택 10만호 보급사업, 지방보급사업 등의 '보급지원제도'를 통하여 국내 분산전원의 보급에 주력하고 있다. 그러나 아직까지 분산전원의 배전계통에 대한 연계기준이 제대로 정립되지 않아 저용량 태양광 발전기가 무분별하게 저압계통에 연계되고 있는 실정이며 그 부작용이 나타나고 있다. 본 논문에서는 50kVA 주상변압기 1대에 2.3kW급 태양광 발전기 32대가 연계된 지역의 전기품질을 측정하고 그 문제점을 분석하였다. 또한 향후 형성될 대단위 태양광주택 수용가가 주변 배전계통에 미치게 되는 영향에 관하여 고찰해보았다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 국내의 태양광 발전 도입 전망

태양광 발전 분야는 태양전지의 특성상 가스터빈에 의한 Combined cycle형의 화력발전 등에 비해 효율은 매우 낮지만 무한정, 무공해 태양에너지의 장점과 비교적 까다롭지 않은 설치조건 및 맞춤형 설치 용량 등으로 인하여 그 수요가 점차 증대되고 있다[1].

국내의 태양광 발전 도입을 주도하고 있는 태양광 사업단은 2012년까지 총 1.3GW의 PV발전 설비를 설치하는

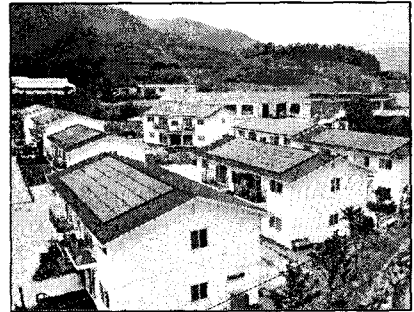


그림 1. 태양광 주택단지 전경(2.3kW\*32대)

것과 R&D 비용 절감 등 크게 2가지의 목표를 설정한바 있다. 주택용 3kWp 태양광 발전 시스템의 경우 2006년 현재 10,000가구에서 2012년 100,000가구(300MWp)로 증가시킬 계획에 있으며, 10kWp 태양광 발전 시스템은 총 400MWp, 상업용 건물 20kWp의 경우는 총 600MWp로 전체 용량 1.3GW의 설치를 2012년까지의 목표로 하고 있다[2]. 이러한 추세라면 국내의 배전계통에는 머지않아 소규모 태양광 발전 설비들에 의해 대단위 태양광 주택단지와 같은 형태가 갖춰질 것으로 예상된다.

##### 2.2 저압계통에서의 태양광 발전

태양광 발전은 설치 용량에 따라 다르긴 하지만, 대체적으로 풍력발전에 비해 출력량이 적으므로, 대단위 풍력발전단지의 형태로 운영되는 풍력 발전 시스템과는 달리 주택이나 건물 등에 건물일체형 시스템(BIPV SYSTEM, Building Integrated Photovoltaic System)으로 설치되어 운영된다. 이러한 태양광 발전은 발전 시간 및 출력 특성상 계통과 연계되는 경우가 많다. 또한 주택용 태양광 발전은 주택용 계약전력에 맞춰 2~3kWp로 보급하고 있으며, 대부분 단상 220V의 계통과 연계된다. 일반적으로 분산전원을 계통에 투입할 경우에는 전압 및 주파수, 역률 등과 같은 전력품질 문제, 계통 사고 시의 단독운전방지 문제, 계통과 분산전원 간의 양방향 보호협조 문제, 그리고 분산전원이 연계된 계통의 사고 시 전류의 증가 문제 등을 고려하여야 한다[1].

본 논문에서는 측정된 데이터를 바탕으로 전압 및 고조파 문제에 대하여 고찰하였다.

##### 2.3 측정 및 분석 결과

###### 2.3.1 측정 개요

한국전력공사 C지점 관내에는 2.3kW급 태양광 발전 32대가 단상 50kVA 변압기 1대에 연계되어 있다. 공동주택이 지어질 당시 32가구에 단상 50kVA 변압기 1대(A상)로 전력을 공급하였고, 추후 태양광 발전 도입시 32대를 배선방식(변압기 용량, 전선 선종 등)을 바꾸지

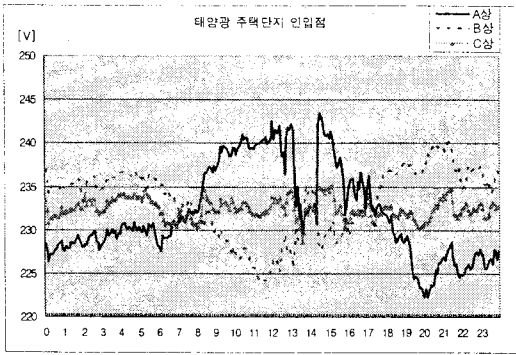


그림2. 태양광 주택단지 인입점의 전압변동(8월 4일)

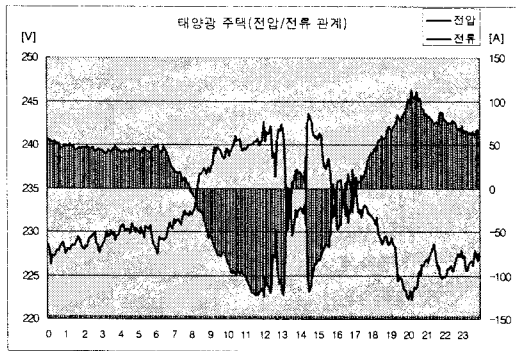


그림3. 발전량과 전압변동의 관계(8월 4일)

않고 연계하였다. 이는 개별 수용가를 고려할 때는 '분산형 전원 배전계통 연계 기술기준'에 위배되지 않았으나 한 변압기에 32대의 태양광 발전이 연계된다는 점에서 불 때는 문제의 소지가 있었다.

전압변동 및 32가구의 총 발전량 등을 관찰하기 위하여 아래와 같이 태양광이 연계된 주상변압기를 포함하여 총 4개소에 전압, 전류 등을 측정할 수 있는 계측기를 설치하였다. 또한 고조파, 플리커 등 전기품질 분석하기 위하여 2가구를 선택하여 전력품질 측정장비를 설치하였다.

- (1) 측정 기간 : 2006년 8월 4일 ~ 10일(7일간)
- (2) 측정 대상 : 한국전력공사 C지점 관내 2.3kW 태양광 발전기 32대가 연계된 저압 계통
- (3) 측정 개소
  - 태양광 발전기와 수용가 전원의 연계점
  - 태양광 주택단지의 인입점
  - 태양광 주택단지를 공급하는 주상변압기 2차
  - 태양광 주택단지를 공급하는 주상변압기에 공통으로 연계된 일반주택의 인입점
  - 태양광 주택단지를 공급하지 않는 인근 주상변압기의 2차
- (4) 주상변압기와 태양광 주택단지와의 연계선로
  - 선종 : OW60mm<sup>2</sup>
  - 길이 : 100M(인입선 30-100M 불포함)
- (5) 측정 장비 : PNA600K(제조사:Dewetron)
- (6) 부하 내역 : PC, 냉장고, TV 등 소용량 가전제품

### 2.3.2 전압변동 측정 결과

그림2는 태양광 주택단지 인입점의 전압변동 추이를 나타낸다. 태양광 발전이 모두 A상에만 연계되어 있기 때문에 발전이 이루어지는 낮 시간(6시-18시)에는 태양광 발전이 연계되어 있지 않은 다른 상에 비하여 A상의

전압이 크게 상승하는 것을 볼 수 있다. 그림2는 2006년 8월 4일 하루만의 데이터이지만 약 7일간의 데이터 역시 유사한 추세를 보였다.

그림3은 태양광 주택단지 인입점에서 측정한 전압과 전류의 상관관계 그래프이다. 이때 그래프 면적에 빛깔이 표시된 부분이 전류값이다. 전류값이 (-)를 갖는 것은 발전이 되어 역조류가 되었음을 의미한다. 전압그래프와 전류그래프를 비교해 보면 두 그래프가 정확하게 반비례함을 알 수 있다. 즉, 이 지역의 과도한 전압상승은 태양광 발전의 과도한 연계 때문으로 해석된다.

13시-14시 부근의 전압이 크게 하락한 것은 우천 또는 구름으로 인하여 일사량이 줄어들어 발전량이 급격하게 줄어든 것으로 유추해볼 수 있다. 또한 해가지고 부하의 사용량이 급격하게 늘어나는 18시 부근에는 전압이 급격하게 하락하는 것을 볼 수 있으며, 이는 A상 변압기에 32집의 주택이 연계되어 있기 때문이다.

인버터 확인 결과 전압상승의 상한치를 250V로 설정해 놓아 이와 같은 현상이 일어남을 알 수 있었다. 그러나 현재와 같은 연계상황에서 분산전원 연계기준을 만족시키기 위하여 인버터의 설정을 233V로 한다면 발전량이 급격하게 줄어들어 태양광 발전의 이점을 살릴 수 없는 상황이다.

### 2.3.3 전압상승 해결방안

'분산형 전원 배전계통 연계 기술기준'의 저압 배전선로 연계 부분에 따르면, 분산전원으로 인해 저압계통의 상시전압이  $220 \pm 13V$ 를 벗어나지 않도록 규정하고 있다. 7일간의 측정 결과는 이 지역의 전압이 태양광 발전으로 인하여 과도하게 상승함을 보여주고 있다.

규정전압을 크게 상회하는 현상을 해결하기 위하여 태양광 주택단지를 공급하는 50kVA 주상변압기의 Tap 확인결과 이미 최고 Tap으로 설정되어 있었다. 또한, 2.3.2절에서 전술한 바와 같이 인버터의 전압상승 상한치를 조정한다면 분산전원을 설치한 의미가 없어질 수 있는 상황이다.

따라서 현재 태양광 발전 설치자가 취할 수 있는 조치는 다음과 같을 것이다.

- ① A상에 연계되어 있는 32대의 발전기중 일부를 B, C상으로 연계
- ② 태양광 주택단지를 공급하는 저압선을 상위 규격으로 교체
- ③ A상 변압기의 용량을 큰 용량의 것으로 교체

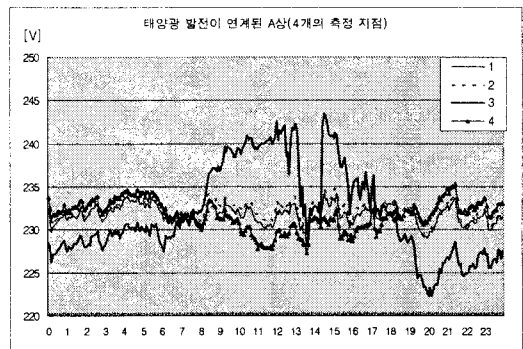


그림3. 태양광이 연계된 A상 4개소의 전압변동(8월 4일)

### 2.3.4 태양광 발전의 주변지역에 대한 영향

그림3은 태양광 발전이 연계되어 있는 주변지역의 A상을 4개소에서 측정한 그래프이다. 1번은 태양광 주택단지를 공급하는 주상변압기에 공통으로 연계된 일반주택의 인입점, 2번은 태양광 주택단지를 공급하는 주상변압기 2차, 3번은 태양광 주택단지의 인입점, 4번은 태양

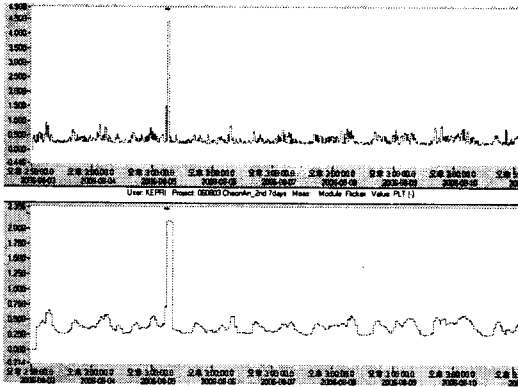


그림4. 측정기간 동안의 Pst 및 Plt

광 주택단지를 공급하지 않는 인근 주상변압기의 2차를 각각 측정된 데이터이다.

1번~4번까지의 그래프 패턴이 유사하지만 3번처럼 크게 전압상승이 일어나지 않는 것으로 보아 주변지역에 대한 영향은 미미한 것으로 판단된다.

### 2.3.5 플리커

분산형 전원의 플리커는 Epsti, Eplti를 통하여 방출량을 제한한다. 현장에서 측정을 통하여 Epsti, Eplti를 파악하는 것은 불가능하므로 Pst 및 Plt의 측정을 통하여 간접적으로 플리커 방출량을 알아보았다. 아래의 IEC1000-3-7의 기준에 따르면 플리커 방출량은 비교적 안정적이라 볼 수 있다. 다만 그림4의 8월 5일 플리커 지수가 크게 상승한 것은 야간시간에 발생한 것으로서 태양광 발전과 무관한 것으로 볼 수 있다. IEC1000-3-7의 계통에서의 플리커 기준은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Pst &\leq 1.0 \text{ (단시간 : 10분)} \\ Plt &\leq 0.8 \text{ (장시간 : 2시간)} \end{aligned}$$

### 2.3.6 고조파 전류

분산형 전원으로 부터 계통에 유입되는 고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 종합 전류 왜형률(TDD)이 5%를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다. 이때 종합 전류 왜형률은 다음과 같이 정의한다.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 [\%] \quad \text{[수식.1]}$$

$I_h$  : 각 차수의 고조파 전류 크기  
 $h$  : 고조파 차수,  $I_L$  : 평균 최대 부하 전류

측정에 사용한 PNA-600K는 측정데이터를 기반으로 PNAPOST(데이터 분석 프로그램)를 이용하여 다양한 형태의 레포트를 제공한다. 그러나 아직까지 TDD가 일반적으로 쓰이지 않고 있기 때문에 THD만을 레포트 형태로 제공하고 있다. 따라서 측정된 고조파 전류로부터 [수식.1]을 이용하여 TDD를 시간대별로 계산하였으며 그 결과는 <표1>과 같다. 측정기간 동안의 최대 전류가 약 10A이므로 하계 부하를 고려하여  $I_L=15A$ 로 가정하였다. 가정용 전기기기의 영향 및 한전측의 전력품질을 고려하더라도 측정개소의 고조파는 연계기준을 만족하는 것으로 나타났다.

<표 1> 시간대별 TDD

[단위 : %]

|        | 0:00  | 4:00  | 7:00  | 10:00 | 12:00 | 14:00 | 18:00 | 21:00 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8월 4일  | 0.706 | 0.417 | 1.790 | 2.206 | 2.582 | 2.204 | 2.206 | 0.730 |
| 8월 5일  | 0.682 | 0.422 | 1.808 | 2.189 | 2.431 | 2.027 | 2.208 | 0.767 |
| 8월 6일  | 0.624 | 0.457 | 1.882 | 2.321 | 2.202 | 2.821 | 2.244 | 0.703 |
| 8월 7일  | 0.664 | 0.474 | 1.646 | 2.039 | 2.518 | 2.556 | 2.167 | 0.795 |
| 8월 8일  | 0.706 | 0.429 | 1.990 | 2.588 | 2.596 | 2.636 | 2.273 | 0.739 |
| 8월 9일  | 0.682 | 0.414 | 1.754 | 2.443 | 2.221 | 2.592 | 2.198 | 0.600 |
| 8월 10일 | 0.601 | 0.391 | 1.867 | 2.548 | 2.379 | 2.169 | 2.351 | 0.749 |

## 3. 결 론

본 논문에서는 저용량 태양광 발전기가 다수(32대) 설치된 태양광 주택단지 및 그 일대의 전기품질을 측정하고 '분산형 전원 배전계통 연계 기술기준'의 만족 여부를 분석하였다. 플리커는 Pst 및 Plt 측면에서 검토해 보았을 때 비교적 만족하는 것으로 나타났으며 고조파 전류 또한 인버터 제작 기술의 발달로 TDD 기준을 만족하였다. 그러나 다수의 태양광이 적은 용량의 변압기에 연계되어 전압상승이 크게 일어나고 낮 시간과 밤 시간의 전압변동이 크게 발생하였다. 대책으로는 A상에만 연계되어 있는 태양광발전을 다른 상으로 옮기는 방안이 비용 및 효과면에서 가장 적절할 것으로 사료된다.

기존에 발표된 논문에서 볼 때 적은 수의 저용량 태양광 발전기의 저압계통 연계는 전력계통에 커다란 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 본 논문에서처럼 다수의 태양광 발전기가 한대의 변압기에 연계된다면 수용가의 전압상승과 같은 심각한 현상이 일어나므로 적절한 배분을 통하여 분산형 전원을 도입해야 할 것으로 사료된다.

향후에는 EMTDC/PSCAD 등의 시뮬레이션 툴을 이용하여 저용량 태양광 발전의 최적 연계용량에 대한 연구를 진행할 예정이다.

본 논문의 결과는 앞으로 3kW급 태양광주택의 보급 증가에 따른 여러 가지 발생 가능한 문제점 및 그 해결책을 제시하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회, "배전시스템공학", 2006년
- [2] 태양광사업단 홈페이지, "태양광사업단 중장기계획", <http://www.solarkorea.org/02-05-02.php>
- [3] IEC, 1000-3-7, Technical Report, 1996
- [4] 한국전력공사, 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준, 2005
- [5] 산업자원부, 공공 저전압 전력 공급시스템의 기준 임피던스 설정 및 플리커 측정기술 표준화 기술개발, 28-36, 2004
- [6] 채우규 외, "저용량 태양광 발전기의 전기품질 측정 및 THD/TDD를 이용한 고조파 비교분석", 대한전기학회, 하계학술대회, 545-546, 2006